



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUIÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL  
DEL CANTÓN GUARANDA”**

**Trabajo de Titulación previa a la obtención del Título de:**  
**INGENIERIO QUÍMICO**

**AUTOR: ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO**  
**TUTORA: ING. MÓNICA ANDRADE**

**Riobamba - Ecuador**

**2016**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal de Trabajo de Titulación certifica que el trabajo de titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA” de responsabilidad del señor Alexis Alberto Lema Gallardo, ha sido revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizado su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mónica Andrade

.....

.....

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. María Fernanda Rivera

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

“Yo, Alexis Alberto Lema Gallardo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos.

A la Ing. Mónica Andrade, directora de Tesis y a la Ing. María Fernanda Rivera, asesora de tesis, por su colaboración para el desarrollo del presente trabajo.

A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable de Guaranda, que proporcionó el aval para el desarrollo de la investigación. Al Ing. Raúl Allán responsable de la dirección técnica.

Y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
SUMMARY .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES	
JUSTIFICACIÓN	
OBJETIVOS	
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Agua Residual .....	5
1.1.1 Tipos de Aguas Residuales .....	5
1.1.2 Características de las Aguas Residuales.....	6
1.1.3 Tratamientos de Aguas Residuales.....	9
1.1.4 Muestreo de Aguas Residuales.....	11
1.1.5 Determinación de Caudales .....	12
1.2 Sistema de Tratamiento .....	15
1.2.1 Rejillas.....	15
1.2.2 Desarenador.....	19
1.2.3 Canal Parshall .....	24
1.2.4 Tanque Mezclador Rápido de Turbina.....	32
1.2.5 Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA) .....	39
1.2.6 Desinfección .....	41
1.3 Norma para el tratamiento del Agua Residual .....	43
CAPÍTULO II	
2. PARTE EXPERIMENTAL .....	44
2.1 Localización de la investigación .....	44
2.2 Tipo de estudio .....	44
2.3 Recolección de información.....	44
2.3.1 Muestreo y caracterización físico - químico y microbiológico del agua residual .....	45
2.4 Metodología.....	49
2.4.1 Métodos y Técnicas .....	49
2.4.2 Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual .....	50

2.4.3	Análisis .....	50
CAPÍTULO III		
3.	CÁLCULOS DE DISEÑO.....	55
3.1	Determinación de la población futura para diseño .....	55
3.2	Cálculo de Caudales .....	55
3.3	Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento.....	57
3.3.1	<i>Diseño de las Rejillas</i> .....	57
3.3.2	<i>Diseño del Desarenador</i> .....	59
3.3.3	<i>Diseño del Canal Parshall</i> .....	62
3.3.4	<i>Diseño del Tanque Mezclador Rápido de Turbina</i> .....	69
3.3.5	<i>Diseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)</i> .....	74
3.3.6	<i>Diseño del tanque de desinfección</i> .....	75
3.4	Resultados del dimensionamiento .....	77
3.4.1	<i>Proyección futura</i> .....	77
3.4.2	<i>Caudales para el diseño del sistema de tratamiento</i> .....	77
3.4.3	<i>Dimensionamiento de las rejillas</i> .....	78
3.4.4	<i>Dimensionamiento del desarenador</i> .....	78
3.4.5	<i>Dimensionamiento del canal Parshall</i> .....	79
3.4.6	<i>Dosificación de productos químicos</i> .....	79
3.4.7	<i>Dimensionamiento del Tanque mezclador rápido de turbina</i> .....	80
3.4.8	<i>Dimensionamiento del lecho de secado</i> .....	80
3.4.9	<i>Dimensionamiento del Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)</i> .....	80
3.4.10	<i>Dimensionamiento del Tanque de desinfección</i> .....	80
3.4.11	<i>Dosificación del desinfectante</i> .....	81
3.5	Resultados de la caracterización Físico-Químico y microbiológico del agua tratada .....	81
3.6	Resultado de la Prueba de Jarras .....	84
3.7	Propuesta .....	87
3.8	Presupuesto general del sistema de tratamiento .....	87
3.9	Eficacia del sistema de tratamiento en la remoción de DBO <sub>5</sub> , DQO y sólidos suspendidos. ....	89
3.9.1	<i>Tanque mezclador rápido</i> .....	90
3.9.2	<i>Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente</i> .....	90
3.9.3	<i>Tanque de desinfección</i> .....	91
3.10	Resultados de las Pruebas de Tratabilidad .....	92

3.10.1	<i>Caracterización física del color .....</i>	92
3.10.2	<i>Caracterización física de la turbiedad .....</i>	93
3.10.3	<i>Caracterización química del Nitrógeno total.....</i>	93
3.10.4	<i>Caracterización química de los fluoruros .....</i>	94
3.10.5	<i>Caracterización química de la demanda bioquímica de oxígeno .....</i>	95
3.10.6	<i>Caracterización química de la demanda química de oxígeno .....</i>	95
3.10.7	<i>Caracterización bacteriológica de coliformes totales .....</i>	96
3.10.8	<i>Caracterización bacteriológica de coliformes fecales .....</i>	97
3.11	<i>Análisis y discusión de Resultados.....</i>	97
3.11.1	<i>Test de jarras.....</i>	104
CONCLUSIONES .....		107
RECOMENDACIONES .....		108
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – 1: Definiciones para sólidos según Standard Methods.....	6
Tabla 2 – 1: Información sobre rejillas de limpieza manual .....	15
Tabla 3 – 1: Coeficiente de Manning .....	16
Tabla 4 – 1: Parámetros de Diseño de Rejillas.....	17
Tabla 5 – 1: Coeficiente de pérdida para rejillas.....	18
Tabla 6 – 1: Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación .....	20
Tabla 7 – 1: Remoción de depósitos .....	21
Tabla 8 – 1: Determinación del ancho del canal Parshall .....	25
Tabla 9 – 1: Valores de K y n .....	25
Tabla 10 – 1: Dimensiones estandarizadas del canal Parshall .....	26
Tabla 11 – 1: Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua.....	30
Tabla 12 – 1: Datos para el dimensionamiento del Tanque mezclador rápido de turbina .....	33
Tabla 13 – 1: Parámetros de diseño para mezcladores de turbina.....	35
Tabla 14 – 1: Densidad y viscosidad dinámica del agua a distintas temperaturas .....	35
Tabla 15 – 1: Número de potencia para diferentes tipos de impulsores.....	36
Tabla 16 – 1: Ventajas y desventajas del lecho de secado .....	37
Tabla 17-1: Tiempo requerido para digestión de lodos.....	38
Tabla 18 – 1: Criterios de diseño para el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente .....	40
Tabla 19 – 2: Recolección de muestras .....	44
Tabla 20 – 2: Materiales, equipos y reactivos utilizados para el muestreo y caracterización .....	45
Tabla 21 – 2: Parámetros analizados.....	46
Tabla 22 – 2: Materiales y equipos para medición del caudal .....	47
Tabla 23 – 2: Aforo de caudal agua residual mes de Julio.....	48
Tabla 24 – 2: Aforo de caudal agua residual meses Agosto - Septiembre.....	48
Tabla 25 – 2: Aforo de caudal agua residual meses Septiembre - Octubre.....	49
Tabla 26 – 2: Caracterización físico – químico y microbiológico del agua residual de la descarga al cuerpo receptor.....	51
Tabla 27 – 2: Caracterización físico – químico y microbiológico del agua residual de la descarga al cuerpo receptor.....	52
Tabla 28 – 2 Caracterización físico – químico y microbiológico muestras compuestas del agua residual de la descarga al cuerpo receptor.....	53
Tabla 29 – 2: Materiales, equipos y reactivos para la prueba de jarras.....	54
Tabla 30 – 3: Resultado de la proyección futura.....	77
Tabla 31 – 3: Resultados de los caudales para el diseño del sistema de tratamiento .....	77
Tabla 32 – 3: Resultados del dimensionamiento de las rejillas.....	78
Tabla 33 – 3: Resultados del dimensionamiento del desarenador .....	78
Tabla 34 – 3: Resultados del dimensionamiento del canal Parshall.....	79
Tabla 35 – 3: Resultados de la dosificación de productos químicos.....	79
Tabla 36 – 3: Resultados del dimensionamiento del tanque mezclador rápido de turbina .....	80
Tabla 37 – 3: Resultados del dimensionamiento del lecho de secado.....	80
Tabla 38 – 3: Resultados del dimensionamiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente.....	80
Tabla 39 – 3: Resultados del dimensionamiento del tanque de desinfección .....	80
Tabla 40 – 3: Resultados de la dosificación del desinfectante hipoclorito de calcio (HTH) .....	81



Tabla 41 – 3: Caracterización físico – químico y microbiológico de muestra compuesta del agua residual de la descarga al cuerpo receptor.....	82
Tabla 42 – 3: Caracterización físico – químico y microbiológico de muestra compuesta del agua residual de la descarga al cuerpo receptor.....	83
Tabla 43 – 3: Prueba de jarras muestra compuesta turbiedad de 87.49 NTU .....	85
Tabla 44 – 3: Prueba de jarras muestra compuesta turbiedad de 102.63 NTU .....	86
Tabla 45 – 3: Costos para la implementacion del sistema de tratamiento de agua residual.....	88
Tabla 46 – 3: Costos de los productos químicos para el tratamiento del agua residual .....	89
Tabla 47 – 3: Caracterización físico del color agua residual y tratada.....	92
Tabla 48 – 3: Caracterización físico de la turbiedad agua residual y tratada.....	93
Tabla 49 – 3: Caracterización química del Nitrógeno Total del agua residual y tratada .....	93
Tabla 50 – 3: Caracterización química de los fluoruros del agua residual y tratada.....	94
Tabla 51 – 3: Caracterización química de la DBO <sub>5</sub> agua residual y tratada.....	95
Tabla 52 – 3: Caracterización química de la DQO agua residual y tratada .....	95
Tabla 53 – 3: Caracterización bacteriológica de coliformes totales agua residual y tratada.....	96
Tabla 54 – 3: Caracterización bacteriológica de coliformes fecales agua residual y tratada .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – 1: Vista frontal del canal .....	17
Figura 2 – 1: Vista frontal del canal y corte longitudinal.....	18
Figura 3 – 1: Formas de las barras de rejillas.....	19
Figura 4 – 1: Pre-tratamiento con desarenador de flujo horizontal .....	19
Figura 5 – 1: Dimensiones del canal Parshall .....	24
Figura 6 – 1: Mezcladores de turbina.....	33
Figura 7 – 1: Filtro anaeróbico de flujo ascendente, Ginebra – Colombia. 6000 habitantes. ....	40
Figura 8 – 2: Tanques de almacenamiento de la parroquia San Luis de Pambil.....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - 3: Disminución concentración del color .....	92
Gráfico 2 – 3: Disminución de la turbiedad .....	93
Gráfico 3 – 3: Disminución concentración de Nitrógeno Total .....	94
Gráfico 4 – 3: Disminución concentración de fluoruros .....	94
Gráfico 5 – 3: Disminución concentración de la DBO <sub>5</sub> .....	95
Gráfico 6 – 3: Disminución concentración de la DQO .....	96
Gráfico 7 – 3: Disminución coliformes totales .....	96
Gráfico 8 – 3: Disminución coliformes fecales .....	97
Gráfico 9 – 3: Resultados de los análisis del color .....	99
Gráfico 10 – 3: Resultados de los análisis de turbiedad .....	100
Gráfico 11 – 3: Resultados de los análisis de nitrógeno total .....	100
Gráfico 12 – 3: Resultados de los análisis de la concentración de fluoruros .....	101
Gráfico 13 – 3: Resultados de los análisis de DBO <sub>5</sub> .....	101
Gráfico 14 – 3: Resultados de los análisis de DQO .....	102
Gráfico 15 – 3: Resultados de los análisis de oxígeno disuelto .....	102
Gráfico 16 – 3: Resultados de los análisis de coliformes totales .....	103
Gráfico 17 – 3: Resultados de los análisis de coliformes fecales .....	103
Gráfico 18 – 3: Test de jarras turbiedad 87.40 NTU .....	105
Gráfico 19 – 3: Test de jarras turbiedad 102.63 NTU .....	106

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO A: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES:  
RECURSO AGUA. LIBRO VI. ANEXO 1

ANEXO B: PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA PARA EL DISEÑO

ANEXO C: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

ANEXO D: FICHAS TÉCNICAS DE QUÍMICOS

ANEXO E: MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO -  
QUÍMICO DEL AGUA

ANEXO F: MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS  
MICROBIOLÓGICO DEL AGUA

ANEXO G: PLANOS

## RESUMEN

Se diseñó un Sistema de Tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Luis de Pambil, del cantón Guaranda, provincia de Bolívar, con el objetivo de obtener agua tratada de calidad, disminuyendo las concentraciones de los parámetros que se encuentren fuera del límite permisible según el Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente para reducir el impacto ambiental en el ecosistema y los medios hídricos, con este fin se realizó el muestreo y la caracterización físico-química y microbiológica del agua residual procedente de la parroquia San Luis de Pambil, se identificaron cinco parámetros fuera de los límites permisibles: nitrógeno total, fluoruros, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes fecales. Se realizaron las pruebas de jarra y las pruebas de tratabilidad en laboratorio para el diseño respectivo. Sobre la base de los resultados se concluyó que el sistema de tratamiento de aguas residuales constará de seis elementos: rejillas, desarenador, canal Parshall, tanque mezclador, cuatro filtros anaeróbicos de flujo ascendente y un tanque de desinfección. El diseño propuesto fue validado con los resultados del agua tratada. Se obtuvo la remoción del 90,73% de nitrógeno total, 87,10% de fluoruros, 99,71% de demanda bioquímica de oxígeno, el 99,85% de demanda química de oxígeno, y un 100% de coliformes fecales. Se recomienda a las autoridades de turno la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para la recuperación de los medios hídricos y mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES > <SAN LUIS DE PAMBIL [PARROQUIA]> < GUARANDA [CANTÓN]> <BOLÍVAR [PROVINCIA]> <TEXTO UNIFICADO LEGISLACIÓN SECUNDARIA MEDIO AMBIENTE [TULSMA]> <PRUEBA DE JARRAS> <CANAL PARSHALL> <FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE>

## SUMMARY

It was designed a System of Wastewater Treatment for San Luis de Pambil parish, Guaranda canton, province of Bolivar, in order to obtain treated water quality, reducing the concentrations of the parameters that are outside the permissible limit according to the Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente to reduce the environmental impact on the ecosystem and water resources, to this end sampling and physical-chemical and microbiological characterization of wastewater from the parish San Luis de Pambil were carried out; five parameters outside the permissible limits were identified: total nitrogen, fluorides, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and fecal coliforms. Jar testing and treatability testing laboratory for the respective design were made. Based on the results it was concluded that the system of waste water treatment consist of six elements: racks, sand trap, Parshall canal mixing tank, four upflow anaerobic filters and disinfection tank. The proposed design was validated by the results of treated water. 90.73% removal of total nitrogen, 87.10% of fluorides, 99.71% of biochemical oxygen demand, 99.85% of chemical oxygen demand and 100% fecal coliform were obtained. It recommends that the authorities in power system tend to the implementation of system of wastewater treatment for the recovery of water resources and improve the quality of life of the inhabitants of the sector.

**Keywords:** <SYSTEM OF WASTE WATER TREATMENT> <SAN LUIS DE PAMBIL [PARISH]> <GUARANDA [CANTON]> <BOLÍVAR [PROVINCE]> <TEXTO UNIFICADO LEGISLACIÓN SECUNDARIA MEDIO AMBIENTE [TULSMA]> <JAR TEST> <PARSHALL CANAL> <UPFLOW ANAEROBIC FILTER>

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Alexis Alberto Lema Gallardo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 27 de enero del 2016

Alexis Alberto Lema Gallardo  
060389181-3

## INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente es de vital importancia para todo el planeta Tierra, ya que cada vez existe un mayor deterioro en los recursos naturales. El suelo, agua y aire, elementos indispensables para el desarrollo de la vida, no se les presta el suficiente cuidado y esto genera efectos negativos sobre todos los seres vivos, incluyendo al ser humano.

En la actualidad, la parroquia San Luis de Pambil con una población de 6500 habitantes y 302 kilómetros cuadrados de superficie territorial, no cuenta con un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que se está generando alteraciones al cuerpo receptor, el Río Suquibí, río que se origina en la cordillera occidental de los Andes y recibe las aguas de quebradas y ríos más pequeños del sector.

El origen de las aguas residuales que afectan al río Suquibí es la consecuencia de las actividades de los habitantes de la parroquia San Luis de Pambil. Su principal fuente de riqueza es la agricultura, en los últimos años la ganadería es otra importante fuente de ingresos para los habitantes de algunas comunidades.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) con el propósito de solucionar los problemas ambientales y promover la mejora continua en todos los procesos de tratamiento de aguas de descarga y descontaminación de cuerpos hídricos, está trabajando en proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales, fortaleciendo las iniciativas de conservación de los recursos hídricos. En donde ingenieros estudian el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales; a través de unidades de sedimentación, filtros anaerobios ascendentes, siembra de plantas acuáticas, pantanos artificiales, que purifican el agua con un nivel de eficiencia del 98%, para posteriormente devolver el agua a los ríos (Ministerio del Ambiente, 2015).

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la parroquia San Luis de Pambil, ha decidido realizar un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para esta parroquia, con el fin de reducir los impactos que genera al medio ambiente una agua residual sin un adecuado tratamiento.

El presente estudio pone a consideración a las autoridades de turno, y aporta importante información que describe el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Luis de Pambil, y tiene el propósito de procurar el bienestar de los habitantes del sector, donde existe el potencial riesgo de contaminación del suelo y agua, siendo una amenaza para la salud de la población de esta parroquia.



## ANTECEDENTES

La parroquia San Luis de Pambil es una de las ocho parroquias rurales del cantón Guaranda de la provincia de Bolívar, fundada el 23 de agosto de 1989. Actualmente la parroquia cuenta con treinta y tres comunidades, tiene una altitud entre los 187 a 2034 metros sobre el nivel del mar, posee un clima tropical mega térmico húmedo y mega térmico lluvioso. Se encuentra ubicada al Noroccidente de la provincia de Bolívar, limitando: al norte con la provincia de Cotopaxi y los ríos, al sur con el cantón las Naves el cantón Echeandía y Salinas, al este con la parroquia Facundo Vela y Salinas y al oeste con el cantón las Naves. La principal fuente de ingreso son las actividades agrícolas, en las que se destacan en la zona baja la producción de la cacao, naranja, plátano, yuca, maíz, papa china y caña de azúcar, en la zona alta se da la producción de naranjilla, granadilla y camote.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, cuyas siglas EMAPA-G ejerce su acción en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar tiene como objetivo la prestación de los servicios de alcantarillado y agua potable. La empresa será responsable de la administración, planificación, diseño, construcción, control, operación y mantenimiento de los sistemas para producción, distribución y comercialización de agua potable; así como de la conducción, regulación y disposición final de las aguas residuales de la ciudad, con el fin de preservar la salud de los habitantes y el entorno ecológico y contribuir el mantenimiento de las fuentes hídricas del cantón Guaranda y obtener una rentabilidad social y económica en sus inversiones (EP-EMAPAG, 2015).

La problemática que surge en la parroquia San Luis de Pambil, es que actualmente no cuenta con un sistema para el tratamiento de las aguas residuales que se descargan al cuerpo receptor, el río Suquibí. Hoy por hoy esta parroquia cuenta con un solo alcantarillado donde se recogen las aguas residuales domésticas, agrícolas y pluviales, mismas que son conducidas a dos tanques de aproximadamente 150 metros cúbicos, estos tanques cumplen la función de decantar los sólidos para posteriormente ser descargados al río Suquibí, este pre-tratamiento colapsa con frecuencia, por no tener un correcto diseño de ingeniería.

La actual disposición de las aguas residuales es preocupante y con esto los riesgos que conlleva la carencia de un apropiado sistema de tratamiento de estas aguas residuales. Por lo cual, con este estudio, se propone tratar las aguas residuales, darle una disposición adecuada a las mismas, y así mejorar la calidad de vida de los habitantes de la parroquia San Luis de Pambil.

## **JUSTIFICACIÓN**

El agua es un elemento vital en el desarrollo del ser humano. En la actualidad existen importantes iniciativas en la preservación y recuperación de las fuentes hídricas. En Ecuador varios son los casos en los que las aguas residuales producto de las actividades del ser humano, son descargadas indiscriminadamente, sin recibir algún tipo de tratamiento adecuado, lo que es una amenaza ya que estas aguas presentan concentraciones altas de contaminantes que tienen el potencial de alterar el medio ambiente.

La Parroquia San Luis de Pambil del cantón Guaranda no tiene un sistema de tratamiento para la descarga de sus aguas residuales, al momento solo cuenta con dos tanques recolectores, los mismos que se encuentran ubicados a cinco kilómetros de la parroquia y posteriormente son descargados en el río Suquibí, sin recibir ningún tipo de tratamiento. Este problema ha causado inconvenientes en la calidad de vida de los habitantes del sector y en los alrededores en donde se ubican estos tanques colectores.

El Ministerio del Ambiente exige el cuidado y tratamiento de aguas residuales antes de ser descargadas a un cuerpo de agua dulce, y para esto se requiere la implementación de un sistema de tratamiento, ya sea físico, químico, biológico o tratamientos en conjunto para mejorar las características en el vertido final.

Dentro de las competencias de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda se encuentra la prestación de servicios en la regulación y disposición final de las aguas residuales para todas sus parroquias urbanas del cantón. El presente proyecto consiste en estudiar, analizar y sobre todo proponer opciones y alternativas que sean factibles para dar solución al problema de la descarga de aguas residuales generadas en la parroquia San Luis de Pambil, mediante el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por los motivos mostrados anteriormente justifica proponer un “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA”, para cumplir con las expectativas que requiere la parroquia, y estar a la altura con las exigencias que hacen los organismos de regulación, ajustando los parámetros a las normas exigidas por el TULSMA (texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente), Libro VI, Anexo I. Tabla 12. Recurso agua.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar un sistema de tratamiento para aguas residuales en la parroquia San Luis de Pambil del cantón Guaranda.

### **ESPECÍFICOS**

- Determinar las características físico - química y microbiológica de las aguas residuales de la Parroquia San Luis de Pambil del cantón Guaranda, basadas en los límites de descarga de la norma de calidad ambiental Recurso Agua del TULSMA Libro VI Anexo I. Tabla 12.
- Identificar las variables de proceso apropiadas para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales según los resultados obtenidos en la caracterización del efluente.
- Validar el diseño propuesto considerando la caracterización físico - química y microbiológica del agua tratada, en base a los límites de descarga del TULSMA libro VI Anexo I Tabla 12.
- Estimar los costos que demanda el estudio técnico del diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Agua Residual

Las Aguas Residuales también conocidas como aguas servidas, fecales o cloacales, son aquellas aguas que han sufrido variaciones en sus características naturales debido a las actividades del ser humano, provenientes de: viviendas, industrias y lluvias, o de cualquier agua superficial o subterránea. Esta agua al no ser tratada carece de valor inmediato debido a su baja calidad (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

Es de vital importancia que se realice un adecuado tratamiento a las aguas residuales para mejorar sus características antes de que estas sean descargadas hacia un cuerpo receptor, ya que el agua residual sin un previo tratamiento representa una amenaza al ecosistema y a la salud del ser humano.

##### *1.1.1 Tipos de Aguas Residuales*

Las Aguas Residuales según su origen se pueden ser clasificadas en:

- **Domésticas.** Son aquellas aguas derivadas de las actividades del ser humano como: limpieza, baño, cocina, lavandería, etc. Por tal motivo, consisten básicamente de materia orgánica, detergentes y grasas, que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas y estas varían su composición dependiendo de los hábitos de la población.
- **Industriales.** Son todas aquellas aguas residuales generadas en los procesos industriales. Poseen características específicas, según el tipo de industria e inclusive dentro de un mismo proceso industrial.
- **Pluviales.** Son aguas de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Una parte de esta agua es drenada y otra parte se escurre por la superficie, arrastrando materiales acumulados en la superficie como: tierra, arena, hojas, etc. Su composición cambia según la actividad que tenga el suelo.
- **Urbanas.** Es la mezcla de las aguas residuales domésticas con aguas residuales industriales y aguas pluviales.

### 1.1.2 Características de las Aguas Residuales

Las aguas residuales difieren entre sí, según su origen, y presentan características: físicas, químicas y biológicas.

#### 1.1.2.1 Características Físicas

Dentro de las características físicas la turbiedad y los sólidos totales son los parámetros imprescindibles para determinar la caracterización preliminar de una muestra de agua residual.

Las características físicas más importantes del agua residual son:

##### a. Sólidos.

**Tabla 1 – 1:** Definiciones para sólidos según Standard Methods

Prueba	Descripción
Sólidos Totales (ST)	Residuo remanente después de que la muestra ha sido evaporada y secada a (103-105°C)
Sólidos Volátiles Totales (SVT)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500±50°C)
Sólidos Fijos Totales (SFT)	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500±50°C)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500±50°C)
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500±50°C)
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos.
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados (500±50°C)
Sólidos Disueltos Fijos (SDF)	Residuo remanente después de calcinar los SDT (500±50°C)
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentaran por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico.

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

**b. Turbiedad.** En el agua residual, se origina debido a la presencia de material suspendido y sólidos. Este es un indicador para el control de calidad en aguas residuales que han recibido un tratamiento (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

- c. **Temperatura.** Es un parámetro importante para determinar el tipo de tratamiento a realizar, a temperaturas cálidas (25 a 36°C), es conveniente un tratamiento biológico, y a temperaturas frías (<16°C), es indicado un tratamiento químico (Romero, 2004).
- d. **Olor.** Los olores se deben a la descomposición de materia orgánica por acción de microorganismos anaerobios, así como también de productos químicos que tienen olores propios.
- e. **Color.** Se origina cuando el agua residual se mezcla con desechos orgánicos y sólidos suspendidos. Además nos da una idea de los químicos que están presentes.
- f. **Conductividad.** Se presenta cuando en el agua residual existe varios iones en solución, provenientes generalmente de minerales. Tiene relación con los sólidos totales disueltos (Romero, 2004).
- g. **Densidad.** La densidad puede ser mayor por la presencia de sustancias coloidales y espesantes. De esta característica depende la potencial formación de fangos.

#### *1.1.2.2 Características Químicas*

Las principales características químicas son:

- a. **Compuestos Orgánicos Biodegradables.** Los porcentajes varían según el origen del agua residual, y están compuestas principalmente por: proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y lípidos (10%) (Ramalho, 2003).
- b. **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en una reacción química durante la oxidación, este valor se usa para determinar las condiciones de biodegradabilidad y los compuestos tóxicos presentes en el agua residual, además de ser un indicador de contaminación; su disminución ayuda para determinar la eficiencia en las etapas de tratamiento (Crites & Tchobanoglous, 2000) (Ramalho, 2003).
- c. **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** Es una de las principales pruebas para evaluar y controlar la contaminación en el agua residual. Representa el oxígeno requerido para la eliminación de la materia orgánica en el agua residual, por el trabajo de microorganismos (Crites & Tchobanoglous, 2000) (Ramalho, 2003).

- d. **Oxígeno Disuelto (OD).** Es uno de los principales indicadores de contaminación. El OD puede disminuir debido a la respiración de microorganismos, organismos macroscópicos y de plantas acuáticas, así como por el incremento de temperatura y las reacciones químicas que consumen oxígeno. El OD es inversamente proporcional al DBO<sub>5</sub> y al DQO (Romero, 2004).
- e. **Potencial Hidrógeno (pH).** Es el coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. Su escala va de 0 a 14, si su valor es 7 el pH es neutro, si es <7 la solución es ácida, >7 la solución es básica. Para el tratamiento de aguas residuales el valor aceptado va de un mínimo de 5 a un máximo de 9.
- f. **Surfactantes.** Se encuentran en el agua debido a la presencia de detergentes. Son compuestos de materiales orgánicos activos en superficies líquidas, también llamados tenso-activos. Estos son un problema para los procesos de aireación.
- g. **Aceites y Grasas.** Pueden ser de origen animal o vegetal, estas suben a la superficie y forman natas que posteriormente son un inconveniente en los sistemas de recolección de agua residual. Según el origen del agua residual es aconsejable una trampa de grasas (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- h. **Nitrógeno.** Es un nutriente esencial para el crecimiento de algas y microorganismos, que presentes en exceso generan contaminación. Se pueden encontrar en las aguas residuales en forma de nitritos (NO<sub>2</sub>), de nitratos (NO<sub>3</sub>), amoniacal o de nitrógeno orgánico. La presencia de estos elementos se da por orina de animales o personas. Es indicador para valorar un tratamiento por medio biológico (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).
- i. **Fósforo.** Es un elemento para el desarrollo de algas y microorganismos. Se pueden presentar como: ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. La presencia de estos elementos es debido a estiércol de animales, aguas negras, aguas de escorrentías procedentes de la agricultura y por actividad industrial. Es indicador en un tratamiento biológico de aguas residuales (Ramalho, 2003).
- j. **Formas de Azufre.** Se encuentran desde concentraciones muy bajas hasta altas de varios miles de mg/L que generan problemas de olores.

**k. Metales Pesados.** Los principales son: plata, cobre, bario cadmio, zinc, cromo, cobalto, níquel, plomo, hierro, mercurio, titanio, vanadio, manganeso, entre otros. Su toxicidad depende de su concentración. Estos están presentes en las aguas residuales debido a actividades como la minería.

#### *1.1.2.3 Características Biológicas*

Las Aguas Residuales dependiendo de su origen, contienen un gran número de microorganismos (benignos o patógenos), cuya principal función es fermentar, transformar y descomponer la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto mediante procesos aerobios o anaerobios. En general las características biológicas más importantes que se miden en el tratamiento de aguas residuales por ser un indicador de agua contaminada son:

- **Coliformes Totales.** Abarca la totalidad del grupo. Son bacterias capaces de fermentar lactosa con producción de gas a una temperatura de 35-37°C. Estas comúnmente no causan problemas.
- **Coliformes Fecales.** Son aquellas bacterias que tienen las mismas propiedades que los Coliformes totales pero que pueden fermentar lactosa a una temperatura de 44- 44.5°C. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica ya que poseen el potencial de causar enfermedades.

#### *1.1.3 Tratamientos de Aguas Residuales*

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir un efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido (también llamado fango o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Al tratamiento de aguas residuales también se lo denomina depuración de aguas residuales para diferenciarlo del tratamiento de aguas potables.

El método que se utilice para el tratamiento de las aguas residuales depende fundamentalmente de las concentraciones de los contaminantes así como del caudal del efluente. Y dependiendo de lo que se quiera eliminar será el tipo de tratamiento que se realice.

Los métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se les conocen como operaciones unitarias; y los métodos con base en procesos químicos o biológicos para la eliminación de los contaminantes se conocen como procesos unitarios. Actualmente, se



combinan operaciones unitarias con procesos unitarios para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario (Romero, 2004).

#### *1.1.3.1 Tipos de Tratamientos de Aguas Residuales*

##### **a. Físicos**

Los efluentes industriales presentan sustancias insolubles en suspensión tales como: Materias grasas flotantes (grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos, alquitranes, etc.) y Sólidos en suspensión (arenas, óxidos, pigmentos, fibras, etc.) que deben ser separados mediante tratamientos físicos para evitar así que posteriormente presenten problemas en las etapas del tratamiento (Romero, 2004).

##### **b. Químicos**

Cuando los contaminantes están disueltos, se recurre a tratamientos químicos para precipitarlos, neutralizarlos, oxidarlos o reducirlos, según corresponda.

##### **c. Biológicos**

Este tipo de tratamiento se basa en el uso de microorganismos (especialmente bacterias) que descomponen y asimilan las sustancias indeseables presentes en el efluente. Así tenemos a los lodos activados como el tratamiento biológico más utilizado para aguas residuales urbanas.

#### *1.1.3.2 Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales*

El tratamiento que se dará a las aguas residuales, nos servirá para disminuir sus contaminantes y de esta manera obtener un mayor grado de purificación. Las etapas para un tratamiento de aguas residuales son:

**a. Pre-tratamiento.** Este es un paso en el que se prepara el agua residual para facilitar los tratamientos, además de proteger la instalación de erosiones y taponamientos. Incluye equipos como: rejas o cribas, tamices, desarenadores y desengrasadores (Ramalho, 2003).

**b. Tratamiento Primario físico-químico.** El principal objetivo es reducir la materia que se encuentra suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, ya sea con o sin la intervención de reactivos o por medio de oxidación química.

Para la correcta dosificación de químicos se realiza una Prueba de Jarras, esta nos ayuda a predecir el funcionamiento de los equipos a gran escala, además de manipular variables como: pH, velocidad de mezclado y comparar sustancias químicas.

- c. Tratamiento Secundario o tratamiento biológico.** Estos procesos se emplean para eliminar la materia orgánica disuelta, con la producción de fangos que deberán ser tratados para su reducción, acondicionamiento y su disposición final (Ramalho, 2003).
- d. Tratamiento Terciario, de carácter físico-químico o biológico.** Este tratamiento es la utilización en conjunto de los tratamientos primarios y secundarios para mejorar las características en el vertido final. Con la posibilidad de llegar a tener un agua de calidad apta para actividades agrícolas, industriales e inclusive para la potabilización (Romero, 2004).

#### ***1.1.4 Muestreo de Aguas Residuales***

El muestreo consiste en obtener una muestra representativa del efluente, con el objetivo de analizar sus características y determinar sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos para identificar los contaminantes y estudiar el método a utilizar. Es importante que la muestra también sea reproducible, sustentada y útil (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

##### ***1.1.4.1 Clasificación de las Muestras***

- a. Muestra Simple.** Ésta es una muestra puntual, representa las cualidades del efluente en el instante en que fue tomada. No es representativa cuando el efluente es muy variado. Esta muestra es ideal para la determinación de: temperatura, pH, cloro residual, alcalinidad, acidez, grasas y coliformes.
- b. Muestra Compuesta.** Está conformada por varias muestras simples, que es tomada en el mismo sitio pero en distintos tiempos. Se recomienda un volumen total entre 2 a 4 litros. Para el cálculo de las muestras individuales, que conforman la muestra total (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009), se emplea la ecuación 1:

$$V_i = \frac{(Q_i * V)}{(Q_{prom} * n_0)}$$

Ecuación 1

Dónde:

$V_i$ = Volumen de cada muestra (L)

$V$ = Volumen total de la muestra compuesta (L)

$Q_i$ = Caudal instantáneo (L/min)

$Q_{prom}$ = Caudal promedio (L/min)

$n_0$ = Número de muestras tomadas (adimensional)

### **1.1.5 Determinación de Caudales**

La determinación del caudal es de suma importancia al momento de realizar un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, ya que este valor suministra datos importantes para el correcto funcionamiento de las unidades de tratamiento (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

#### **1.1.5.1 Métodos para la Medición de Caudales**

**a. Método Volumétrico.** Es un método muy utilizado para pequeños caudales. En el cual se llena un recipiente de volumen conocido y se mide el tiempo que tarda en llenarse. El resultado se obtiene al aplicar la ecuación 2:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 2

Dónde:

$Q$ = Caudal (L/s)

$V$ = Volumen (L)

$t$ = Tiempo (s)

**b. Método velocidad/superficie.** Para este método es necesario conocer la superficie de recorrido y la velocidad del fluido. Se aplica la ecuación 3:

$$Q = A * v$$

Ecuación 3

Dónde:

$Q$ = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$A$ = Área transversal (m<sup>2</sup>)

$v$ = velocidad (m/s)

#### **1.1.5.2 Determinación de la población futura para diseño**

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario proyectar hacia una población futura, tomando en cuenta el último censo poblacional de la Parroquia San Luis de Pambil en el año 2010. Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$P_f = P_a \left( 1 + \frac{r}{100} \right)^t$$

Ecuación 4

Dónde:

$P_f$  = Población futura

$P_a$  = Población actual

$r$  = Índice de crecimiento anual

$t$  = Período de tiempo (año futuro – año actual)

#### 1.1.5.3 Fórmulas para el cálculo de Caudales

- **Cálculo del agua consumida por cada habitante en el día**

Se aplica la siguiente expresión:

$$D_c = \frac{Q_{prom} * 1000 \text{ L/m}^3}{P_a}$$

Ecuación 5

Dónde:

$D_c$  = Dotación consumida (L/ hab. día)

$Q_{prom}$  = Medición promedio del caudal (m<sup>3</sup>/día)

$P_a$  = Población actual

- **Caudal servido**

$$Q_s = \frac{P_f * D_c}{1000(\text{L/m}^3)}$$

Ecuación 6

Dónde:

$Q_s$  = Caudal servido (m<sup>3</sup>/día)

$P_f$  = Población futura

$D_c$  = Dotación consumida (L/ hab. día)

- **Caudal medio diario**

El caudal medio diario vendrá dado por:

$$Q_{md} = K_1 * Q_s$$

Ecuación 7

Dónde:

$Q_{md}$  = Caudal medio diario ( $m^3/día$ )

$K_1$  = constante = 0,6

$Q_s$  = Caudal servido ( $m^3/día$ )

- **Caudal de diseño**

Y el caudal de diseño, que es el caudal medio diario expresado en ( $m^3/h$ ).

$$Q_d = Q_{md}/24$$

Ecuación 8

Dónde:

$Q_d$  = Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$Q_{md}$  = Caudal medio diario ( $m^3/día$ )

- **Caudal mínimo diario**

Es el valor mínimo del caudal diario, y viene ligado a periodos de sequía. Puede tomar valores entre 0,3 y 0,5. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{min} = K_{min} * Q_{md}$$

Ecuación 9

Dónde:

$Q_{min}$  = Caudal mínimo diario ( $m^3/día$ )

$K_{min}$  = coeficiente: 0,3 - Sugerido por la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG.

$Q_{md}$  = Caudal medio diario ( $m^3/día$ )

- **Caudal punta**

Es el caudal hidráulico máximo que puede admitir la planta. Se considera 3 veces el  $Q_{md}$  durante épocas secas, y 5 veces en épocas de lluvia. Si el caudal de ingreso es mayor al  $Q_p$  el rendimiento del sistema puede disminuir e incluso anularse. Para evitar este inconveniente se puede instalar compuertas o vertederos que modifican el caudal (Isla de Juana, 2005).

$$Q_p = K_p * Q_{md}$$

Ecuación 10

Dónde:

$Q_p$  = Caudal punta ( $m^3/día$ )

$K_p$  = coeficiente igual a 5

$Q_{md}$  = Caudal medio diario ( $m^3/día$ )

## 1.2 Sistema de Tratamiento

### 1.2.1 Rejillas

Las rejillas o también llamadas cribas, se utilizan para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. La principal función es ser un elemento de protección de la planta, ayuda a preservar bombas, equipos mecánicos y prevenir la obstrucción de válvulas. Es por eso que es el primer proceso que se efectúa en un efluente de agua residual.

Existen dos tipos de rejillas, las finas que están hechas en malla metálica y que tienen una separación de 5 mm o menos, y las rejillas gruesas que están hechas con barras de acero y tienen una separación de 4 a 8 cm (Crites & Tchobanoglous, 2000).

**Tabla 2 – 1:** Información sobre rejillas de limpieza manual

Parámetro	Rango	Unidad
Espaciamiento entre las barras	15-50	mm
Separación entre las barras	25-50	mm
Velocidad de aproximación	0,3-0,6	m/s
Velocidad a través de las barras	0,3-0,6	m/s
Ángulo de inclinación	60-45	°(grados)

Fuente: (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009)

La velocidad a través de las rejas debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin provocar una gran pérdida de carga ni obstrucción en los barros, se establece una velocidad mínima y máxima que generalmente oscila entre 0,6 m/s y 1,0 m/s; pudiendo llegar como máximo hasta 1,4 m/s (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

Para el dimensionamiento de las rejillas se aplican las siguientes ecuaciones:

- **Ecuación de Manning**

Esta ecuación establece la velocidad de llegada del agua residual hacia las rejillas.

$$v = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 11

Dónde:

v = velocidad de llegada del agua residual (m/s)

S = Pendiente: Dato de los planos del levantamiento topográfico

Rh = Radio hidráulico

n = Coeficiente de Manning (Material: Concreto) – Tabla 3-1.

**Tabla 3 – 1: Coeficiente de Manning**

Material	Coeficiente de Manning	Coeficiente de Rugosidad Absoluta k (mm)
Asbesto cemento	0.011	0.002
Latón	0.011	0.002
Fierro fundido (nuevo)	0.012	0.600
Concreto (cimbra metálica)	0.011	0.260
Concreto (cimbra madera)	0.015	0.180
Concreto simple	0.013	0.600
Cobre	0.011	0.002
Acero corrugado	0.022	45.000
Acero galvanizado	0.016	0.150

Fuente: Crites, 2000

- **Área libre al paso del agua ( $A_L$ ) o área transversal:**

Es el área total donde se ubicara la rejilla:

$$A_L = \frac{Q_p}{v}$$

Ecuación 12

Dónde:

$A_L$ = Área libre al paso del agua (m<sup>2</sup>)

$Q_p$ = Caudal punta (m<sup>3</sup>/s)

$v$  = Velocidad de entrada del flujo (m/s)

- **Altura del tirante en el canal ( $h_a$ ) o Altura efectiva**

$$h_a = \frac{A_L}{b}$$

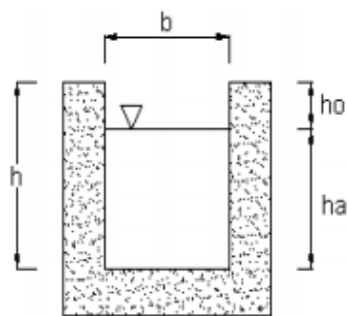
Ecuación 13

Dónde:

$h_a$ = Tirante del canal (m)

$A_L$ = Área libre al paso del agua (m<sup>2</sup>)

$b$  = ancho del canal: 0,50 m - Dato propuesto por la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG.



**Figura 1 – 1:** Vista frontal del canal

Fuente: Álvaro Mercado, Santa Cruz, 2013

La Figura 1-1 muestra la disposición del canal,  $h_0$ = altura de seguridad o borde libre. (Se recomienda un borde entre 0,20 y 0,25m).

- **Longitud de las barras**

La longitud de las barras depende del grado de inclinación que tienen con la horizontal, y de la altura del canal.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}\alpha}$$

Ecuación 14

Dónde:

$L_b$ = longitud de las barras (m)

$h_a$ = tirante del canal (m)

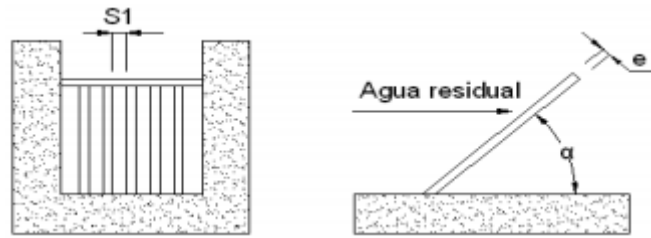
$\text{sen}\alpha$  = ángulo de inclinación de las barras - Tabla 4-1

**Tabla 4 – 1:** Parámetros de Diseño de Rejillas

Parámetro de diseño	Unidad	Rango	Rejilla gruesa	Rejilla fina
Espaciamiento entre barras	Mm	15-50	40	20
Diámetro de las barras	pulgadas	3/8- 1 <sup>1/2</sup>	1/2	1/2
Velocidad de aproximación	m/s	0,3-0,6	0,45	0,5
Velocidad a través de las barras	m/s	0,3-0,6	0,6	0,6
Angulo de inclinación	°	60 – 45	45	45

Fuente: RAS, 2000





**Figura 2 – 1:** Vista frontal del canal y corte longitudinal

Fuente: Álvaro Mercado, Santa Cruz, 2013

### • Número de barras

La separación y el espesor de las barras son según el tipo de material de las barras.

$$N_b = \frac{b}{e + S}$$

Ecuación 15

Dónde:

$N_b$  = Número de barras

$b$  = ancho del canal (m)

$e$  = Separación entre barras (m) - Tabla 2-1

$S$  = espesor de las barras (m) - Tabla 4-1

### • Pérdida de Carga

Aplicando la ecuación de Kirschmer:

$$h = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{sen} \alpha$$

Ecuación 16

Dónde:

$h$  = Pérdida de Carga (m)

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de las barras - Tabla 5-1

$e$  = Separación entre barras (m)

$S$  = espesor de las barras (m)

$\left( \frac{v^2}{2g} \right)$  = Carga de Velocidad antes de la reja (m)

$v$  = Velocidad del agua residual (m/s)

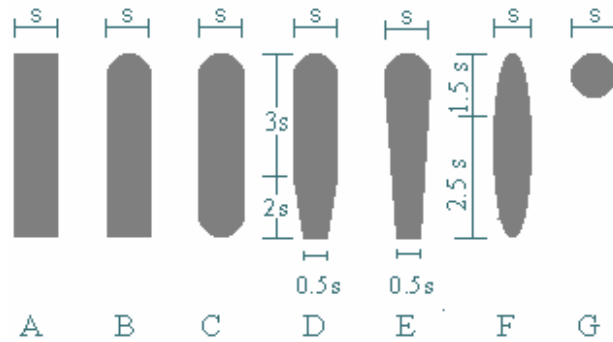
$g$  = Gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de las barras ( $^\circ$ )

**Tabla 5 – 1:** Coeficiente de pérdida para rejillas

FORMA	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: Normas RAS, 2000



**Figura 3 – 1:** Formas de las barras de rejillas

Fuente: Normas RAS, 2000

### 1.2.2 Desarenador

Los desarenadores tienen 3 objetivos: (1) proteger los elementos mecánicos móviles; (2) reducción de formación de depósitos pesados en la tubería, y (3) disminuir la limpieza de los digestores provocada por la excesiva acumulación de las arenas (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

El desarenador más sencillo es el de flujo horizontal, es un canal rectangular donde circula el flujo. Se puede controlar la velocidad del flujo mediante vertederos a la salida del canal.



**Figura 4 – 1:** Pre-tratamiento con desarenador de flujo horizontal

Fuente: Fotografía de Padilla E., 2007

Para el dimensionamiento del Desarenador de Flujo Horizontal se toma en cuenta la relación que existe entre el diámetro de partícula y la velocidad de sedimentación.

**Tabla 6 – 1: Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación**

Material	Diámetro límite de partículas	Número de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	> 1.0	> 10000	100	Turbulento	$V_s = 1,82 \sqrt{d g \left( \frac{\rho a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0,22 \left( \frac{\rho a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left( \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right)$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{g(\rho s - \rho)}{18\mu} d^2$ Stokes

Fuente: Franzini &amp; Linsley

- Velocidad de Sedimentación**

Para arena fina se aplica la ecuación de stokes:

$$V_s = \frac{g(\rho a - \rho)}{18\mu} d^2$$

Ecuación 17

Dónde:

 $V_s$ = velocidad de sedimentación (cm/s) $\rho a$ = densidad de la arena (2,65g/cm<sup>3</sup>) $\rho$ = densidad del agua a 20°C (1g/cm<sup>3</sup>) $g$ = gravedad (980cm/s<sup>2</sup>) $d$ = diámetro de la partícula (0,01cm) $\mu$ = viscosidad cinemática del agua a 20°C (0,0101cm<sup>2</sup>/s) – Tabla 14-1.

- Número de Reynolds  $N_{Re}$**

$$N_{Re} = \frac{V_s * \rho * d}{\mu}$$

Ecuación 18

Dónde:

 $N_{Re}$ = Número de Reynolds

$V_s$  = velocidad de sedimentación (m/s)

$\rho$  = densidad del agua a °C (kg/m<sup>3</sup>)

$d$  = diámetro de la partícula (m)

$\mu$  = viscosidad cinemática del agua a 20°C (kg/ms) – Tabla 14-1

- **Tiempo de Retención**

$$t = \frac{H}{V_s}$$

Ecuación 19

Dónde:

$t$  = tiempo de retención (s)

$H$  = profundidad de sedimentación (cm)

$V_s$  = velocidad de sedimentación (cm/s)

- **Periodo de Retención**

Este viene dado por el coeficiente de remoción de depósito y el tiempo de retención. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$a = K * t$$

Ecuación 20

Dónde:

$a$  = periodo de retención (s)

$K$  = coeficiente de remoción de depósito a 87½ (cm/s) - Tabla 7-1

$t$  = tiempo de retención (s)

**Tabla 7 – 1: Remoción de depósitos**

Condiciones	Remoción		
	50%	75%	87½%
1. Máximo teórico	0,500	0,750	0,875
2. Depósitos con muy buenos deflectores	0,730	1,520	2,370
3. Depósitos con buenos deflectores	0,760	1,660	2,750
4. Depósitos con deflectores deficientes o sin ellos	1,00	3,00	7,00

Fuente: Weston & Bogert

- **Capacidad del Desarenador**

Viene dada por la siguiente expresión:

$$C = Q * a$$

Ecuación 21

Dónde:

$C$  = capacidad del desarenador (m<sup>3</sup>)

$Q$ = caudal (L/s)

$\alpha$  = periodo de retención (s)

- **Superficie del Desarenador**

Viene dada por la siguiente expresión:

$$A_s = \frac{C}{H}$$

Ecuación 22

Dónde:

$C$ = capacidad del desarenador ( $m^3$ )

$H$ = profundidad útil (m)

$A_s$ = superficie del desarenador ( $m^2$ )

- **Dimensiones del Desarenador**

Para deducir las dimensiones del desarenador acorde a la relacion largo y ancho, se tiene las siguiente expresiones:

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{2}}$$

Ecuación 23

$$\frac{L}{B} = 2$$

Ecuación 24

Dónde:

$B$ = ancho del desarenador (m)

$L$ = longitud del desarenador (m)

$A_s$ = superficie del desarenador ( $m^2$ )

- **Área Total del Desarenador**

$$A_T = B * L$$

Ecuación 25

Dónde:

$B$ = ancho del desarenador (m)

$L$ = longitud del desarenador (m)

$A_T$ = área total del desarenador ( $m^2$ )

- **Volumen del Desarenador**

$$V = B * L * H$$

Dónde:

V= volumen del desarenador (m<sup>3</sup>)

B= ancho del desarenador (m)

L= longitud del desarenador (m)

H= altura del desarenador (m)

- **Carga Hidráulica**

Esta viene dada por la relacion que se da entre el caudal y la superficie del desarenador, por lo que:

$$q = \frac{Q}{As}$$

Ecuación 27

Dónde:

q= carga hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día)

Q= caudal (L/s)

As= superficie del desarenador (m<sup>2</sup>)

- **Caudal por línea del desarenador Q<sub>o</sub>**

El caudal a tratar por linea del desarenador se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_o = \frac{Q_p}{N_{unidades}}$$

Ecuación 28

Dónde:

Q<sub>o</sub> = Caudal por línea del desarenador (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>p</sub> = Caudal punta (m<sup>3</sup>/s)

N<sub>unidades</sub>= Número de unidades: 2

- **Velocidad Horizontal V<sub>h</sub>**

$$V_h = \frac{Q_o}{As}$$

Ecuación 29

Dónde:

Q<sub>o</sub> = Caudal por línea del desarenador (m<sup>3</sup>/s)

As= superficie del desarenador (m<sup>2</sup>)

V<sub>h</sub>= velocidad horizontal (m/s)

- **Tirante sobre el vertedero h<sub>v</sub>**

Para calcular el tirante sobre el vertedero de salida se aplica la ecuación de Francis:

$$h_v = \left( \frac{Q_0}{1,84 * B} \right)^{2/3}$$

Ecuación 30

Dónde:

$h_v$  = tirante sobre el vertedero de salida (m)

$Q_0$  = Caudal por línea del desarenador ( $m^3/s$ )

$B$  = ancho (m)

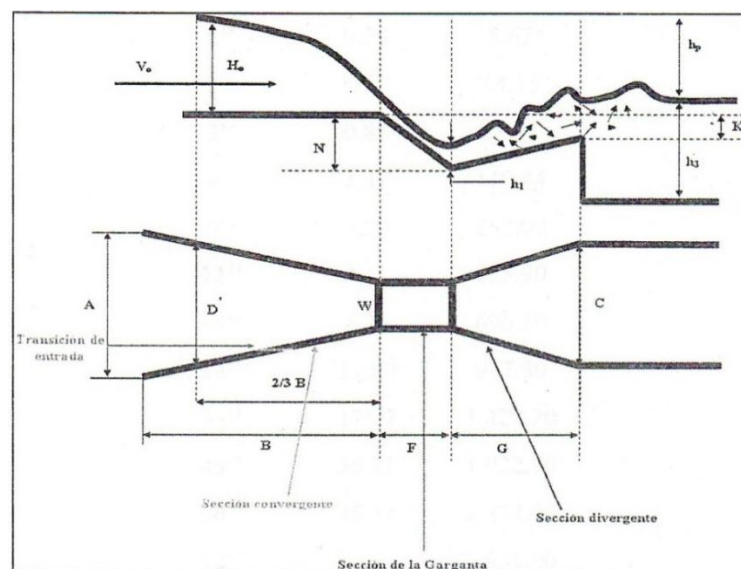
Los lodos sin un tratamiento (lavado) contiene gran cantidad de materia orgánica que origina malos olores y atrae a insectos y roedores. El método más utilizado para la eliminación de éstos es la evacuación a un terreno como relleno, cubriendola cuando sea necesario. Algunas veces se estabiliza a los lodos con cal antes de su evacuacion a un vertedero (Metcalf & Eddy Incorporated, 2009).

### 1.2.3 Canal Parshall

El canal Parshall tiene dos propósitos; el primero, de servir como un medidor de caudal; y el segundo, de generar turbulencia y servir como punto de dosificación de químicos.

Un canal Parshall consta principalmente de tres partes principales:

- ✓ Sección convergente
- ✓ Garganta
- ✓ Sección divergente



**Figura 5 – 1:** Dimensiones del canal Parshall

Fuente: (ARBOLEDA, 2000)

Para diseñar el canal Parshall se utilizó las siguientes ecuaciones:

- **Ancho de la Garganta**

Se emplea la siguiente tabla:

**Tabla 8 – 1:** Determinación del ancho del canal Parshall

ANCHO W	LIMITES DE CAUDAL(L/s)	
	Q mínimo	Q máximo
1"	0.28	5.67
2"	0.57	14.15
3"	0.85	28.31
6"	1.42	110.44
9"	2.58	252.00
12"	3.11	455.90
18"	4.24	696.50
24"	11.90	937.30
36"	17.27	1427.20
48"	36.81	1922.70
60"	45.31	2424.00
72"	73.62	2931.00

Fuente: (ROMERO, Teoria y Principios de Diseño, 2008)

- **Altura del agua en la sección de medición**

$$H_o = K * Q_{punta}^n$$

Ecuación 31

Dónde:

$H_o$ = Altura de Diseño (m)

$Q_p$  = Caudal punta ( $m^3/s$ )

K= constantes adimensionales – Tabla 9-1

n= constantes adimensionales – Tabla 9-1

**Tabla 9 – 1:** Valores de K y n

Ancho de la Garganta Parshall (w)		K	n
Pulgadas- Pies	Metros		
3"	0.075	3.704	0.646
6"	0.015	1.842	0.636
9"	0.2290	1.486	0.633
1"	0.305	1.276	0.657
1 ½"	0.460	0.966	0.650
2"	0.610	0.795	0.645
3"	0.915	0.608	0.639
4"	1.22	0.505	0.634
5"	1.525	0.436	0.630
6"	1.83	0.389	0.627

Fuente: CEPIS.(1992)



- Ancho de la sección de medición D'**

$$D' = \frac{2}{3} (D^1 - W) + W$$

Ecuación 32

Dónde:

D' = Ancho de agua en la sección de medición (m)

D<sup>1</sup> = Dimensiones de la canaleta (m) Tabla 10-1

W = Ancho de la garganta (m)

**Tabla 10 – 1:** Dimensiones estandarizadas del canal Parshall

W		A	B	C	D <sup>1</sup>	E	F	G	K <sub>1</sub>	N
Pulg	cm	cm	Cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1'	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3'	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	45.7	15.2	30.5	2.5	5.7
6'	15.2	61.0	61.0	39.4	40.3	61.0	30.5	61.0	7.6	11.4
9'	22.9	88.0	86.4	39.0	57.5	76.3	30.5	45.7	7.6	11.4
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 ½'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.3	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.0	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	174.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305	274.5	427.0	366.0	475.9	475	91.5	183.5	15.3	34.3

Fuente: CEPIS.(1992)

- Velocidad en la sección de Medición**

$$V_0 = \frac{Q_p}{H_0 * D'}$$

Ecuación 33

Dónde:

V<sub>0</sub> = Velocidad en la sección de medición (m/s)

Q<sub>p</sub> = Caudal punta (m<sup>3</sup>/ s)

H<sub>0</sub> = Altura de agua en la sección de medición (m)

D' = Ancho de agua en la sección de medición (m)

- Carga Hidráulica Disponible**

$$E_o = \frac{V_o^2}{2g} + H_o + N$$

Ecuación 34

Dónde:

$E_o$ = Carga hidráulica disponible (m)

$V_o$ = Velocidad en la sección de medición (m/s)

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

$H_o$  = Altura de agua en la sección de medición (m)

$N$ = dimensiones de la canaleta (m) Tabla 10-1

- **Caudal específico en la garganta de la canaleta**

$$Q_w = \frac{Q_p}{W}$$

Ecuación 35

Dónde:

$Q_w$ = Caudal específico en la garganta de la canaleta ( $m^3/m \cdot s$ )

$Q_p$ = Caudal punta ( $m^3/s$ )

$W$  = Ancho de la garganta (m)

- **Angulo de Inclinación**

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ -\frac{Q_w * g}{\left(\frac{2g * E_o}{3}\right)^{1.5}} * \frac{180}{\pi} \right]$$

Ecuación 36

Dónde:

$\theta_p$ = Angulo de inclinación ( $^\circ$ )

$Q_w$ = Caudal específico en la garganta de la canaleta ( $m^3/sm$ )

$g$  = gravedad ( $m/s^2$ )

$E_o$ = Carga hidráulica disponible (m)

- **Velocidad antes del resalto**

$$v_1 = 2 \left( \frac{2 E_o * g}{3} \right)^{0.5} * \cos \left( \theta_p * \frac{\pi}{540} \right)$$

Ecuación 37

Dónde:

$v_1$ = Velocidad antes del resalto (m/s)

$\theta_p$ = Angulo de inclinación ( $^\circ$ )

$g$  = gravedad ( $m/s^2$ )

$E_o$ = Carga hidráulica disponible (m)

- **Altura de agua antes del resalto**

$$h_1 = \frac{Q_w}{v_1}$$

Ecuación 38

Dónde:

$h_1$ = Altura de agua antes del resalto (m)

$Q_w$ = Caudal de agua ( $m^3/s$ )

$v_1$ = Velocidad antes del resalto (m/s)

- **Numero de Froude**

$$F = \frac{v_1}{(gh_1)^{0,5}}$$

Ecuación 39

Dónde:

$F$  = Numero de Froude, adimensional

$v_1$ = Velocidad antes del resalto (m/s)

$h_1$ = Altura de agua antes del resalto (m)

$g$  = gravedad ( $m/s^2$ )

- **Altura del agua después Resalto**

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

Ecuación 40

Dónde:

$h_2$ = Altura de resalto

$h_1$ = Altura de agua antes del resalto (m)

$F$  = Numero de Froude, adimensional

- **Velocidad de Resalto**

$$v_2 = \frac{Q_p}{h_2 * W}$$

Ecuación 41

Dónde:

$v_2$ = velocidad del resalto (m/s)

$W$  = Ancho de la garganta (m)

$Q_p$  = Caudal punta ( $m^3/s$ )

$h_2$  = Altura después del resalto

- **Altura en la sección de salida del canal**

$$h_3 = h_2 - (N - K_1)$$

Ecuación 42

Dónde:

$h_3$  = Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

$h_2$  = Altura después del resalto (m)

$K_1$  = constantes adimensionales Tabla 10-1

$N$  = constantes adimensionales Tabla 10-1

- **Velocidad en la sección de la salida**

$$v_3 = \frac{Q_p}{C * h_3}$$

Ecuación 43

Dónde:

$v_3$  = Velocidad en la sección de salida (m/s)

$Q_p$  = Caudal punta ( $m^3/s$ )

$h_3$  = Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

$C$  = Dimensiones de la canaleta (m) Tabla 10-1

- **Perdida de carga en el resalto**

$$h_R = H_0 + K_1 + h_3$$

Ecuación 44

Dónde:

$h_R$  = Perdida de carga en el resalto (m)

$H_0$  = Altura del flujo de agua (m)

$K_1$  = constantes adimensionales – Tabla 10-1

$h_3$  = Altura en la sección de salida de la canaleta (m)

- **Tiempo de mezcla en el resalto**

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3}$$

Dónde:

T= tiempo de mezcla en el resalto (s)

G' = Dimensión de la canaleta (m) Tabla 10-1

v<sub>2</sub>= velocidad del resalto (m/s)

v<sub>3</sub>= Velocidad en la sección de salida (m/s)

- **Gradiente de Velocidad**

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \left(\frac{h_R}{T}\right)^{0,5}$$

Dónde:

G = Gradiente de velocidad (s<sup>-1</sup>)

h<sub>R</sub> = Perdida de carga en el resalto (m)

T= tiempo de mezcla en el resalto (s)

√(γ/μ) = Relación peso específico y viscosidad absoluta - Tabla 11-1

**Tabla 11 – 1:** Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta para el agua

TEMPERATURA °C	√(γ/μ)
0	2336.94
4	2501.56
10	2736.53
15	2920.01
20	3114.64
25	3266.96

Fuente: (Romero, 2004)

### 1.2.3.1 Dosificación de productos Químicos

La dosificación de los productos químicos se realizará por goteo. Para la dosificación de químicos se emplean las siguientes ecuaciones:

- **Dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC – P25A)**

$$D_{PAC} = \frac{V_{TM} * D_{PAC \text{ Jarras}}}{V_{P. \text{Jarras}}}$$

Dónde:

D<sub>PAC</sub> = Dosis de PAC para la coagulación (mL)

$V_{TM}$ = volumen del tanque mezclador (L)

$D_{PAC \text{ Jarras}}$  = Dosis de PAC óptimo en la prueba de jarras

$V_{P. \text{ Jarras}}$ = volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

- **Cantidad de Policloruro de Aluminio (PAC – P25A)**

$$C_{PAC} = Conc_{PAC} * D_{PAC}$$

Ecuación 48

Dónde:

$C_{PAC}$  = Cantidad de PAC (g/día)

$D_{PAC}$  = Dosis de PAC para la coagulación (L/día)

$Conc_{PAC}$  = Concentración de PAC óptimo en la prueba de jarras (g/L)

- **Dosificación de Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)**

$$D_{N-100} = \frac{V_{TM} * D_{N-100 \text{ Jarras}}}{V_{P. \text{ Jarras}}}$$

Ecuación 49

Dónde:

$D_{N-100}$  = Dosis de Chemfloc N-100 para la coagulación (mL)

$V_{TM}$ = volumen del tanque mezclador (L)

$D_{N-100 \text{ Jarras}}$  = Dosis de Chemfloc N-100 óptimo en la prueba de jarras: 12,50 mL

$V_{P. \text{ Jarras}}$ = volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

- **Cantidad de Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)**

$$C_{N-100} = Conc_{N-100} * D_{N-100}$$

Ecuación 50

Dónde:

$C_{N-100}$  = Cantidad de Chemfloc N-100 (g/día)

$D_{N-100}$  = Dosis de Chemfloc N-100 para la coagulación (L/día)

$Conc_{N-100}$  = Concentración de Chemfloc N-100 óptimo en la prueba de jarras (g/L)

- **Dosificación de Sulfato de Aluminio**

$$D_{Sulf} = \frac{V_{TM} * D_{Sulf \text{ Jarras}}}{V_{P. \text{ Jarras}}}$$

Ecuación 51

Dónde:

$D_{Sulf}$  = Dosis de Sulfato de aluminio (mL)

$V_{TM}$ = volumen del tanque mezclador (L)

$D_{Sulf\ Jarras}$  = Dosis de Sulfato de aluminio óptimo en la prueba de jarras

$V_{P.\ Jarras}$  = volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

- **Cantidad de Sulfato de Aluminio**

$$C_{Sulf} = Conc_{Sulf} * D_{Sulf}$$

Ecuación 52

Dónde:

$C_{Sulf}$  = Cantidad de Sulfato de aluminio (g/día)

$D_{Sulf}$  = Dosis Sulfato de aluminio para la coagulación (L/día)

$Conc_{Sulf}$  = Concentración de Sulfato de aluminio óptimo en la prueba de jarras (g/L)

- **Dosificación de Cal T-30**

$$D_{Cal} = \frac{V_{TM} * D_{Cal\ Jarras}}{V_{P.\ Jarras}}$$

Ecuación 53

Dónde:

$D_{Cal}$  = Dosis de Cal (mL)

$V_{TM}$  = volumen del tanque mezclador (L)

$D_{Cal\ Jarras}$  = Dosis de Cal óptimo en la prueba de jarras

$V_{P.\ Jarras}$  = volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

- **Cantidad de Cal T-30**

$$C_{Cal} = Conc_{Cal} * D_{Cal}$$

Ecuación 54

Dónde:

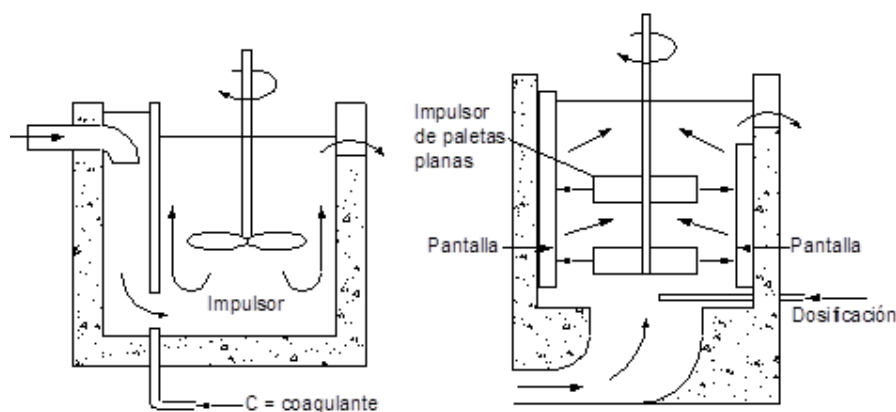
$C_{Cal}$  = Cantidad de cal (g/día)

$D_{Cal}$  = Dosis de cal para la coagulación (L/día)

$Conc_{Cal}$  = Concentración de cal óptimo en la prueba de jarras (g/L)

#### **1.2.4 Tanque Mezclador Rápido de Turbina**

El mezclador más utilizado es el mecánico ya que estos mezcladores proporcionan mayor confianza y flexibilidad, los impulsores utilizados son los de paleta, turbina y hélices. El diámetro recomendado del impulsor es del 30 al 50% del diámetro total del tanque y la velocidad, según el tipo de agua, es de 10 a 150 rpm.



**Figura 6 – 1: Mezcladores de turbina**

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992

**Tabla 12 – 1: Datos para el dimensionamiento del Tanque mezclador rápido de turbina**

Parámetros	Datos	Unidades	Expresión
Caudal de diseño	0,0028	m <sup>3</sup> /s	Q
Tiempo de retención	7	s	Trh
Temperatura promedio del agua	15	°C	T
Gradiente de velocidad	1000	s <sup>-1</sup>	G
Volumen proveniente del sedimentador	9	m <sup>3</sup>	V
Relación de geometría	$\frac{DT}{D} = 3$		a
Relación de geometría	$\frac{H}{D} = 3,5$		b
Viscosidad dinámica	$1,139 \cdot 10^{-3}$	N·s/m <sup>2</sup>	u
Número de potencia	6,3		K
Densidad del agua	999,19	kg/ m <sup>3</sup>	$\rho$

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992. ROBERT, Mott, 2013

- Volumen del tanque mezclador**

$$V_{TM} = Q_p * Trh$$

Ecuación 55

Dónde:

$V_{TM}$ = volumen del tanque mezclador (m<sup>3</sup>)

$Q_p$ = caudal punta (m<sup>3</sup>/s)

$T_{rh}$ = tiempo de retención (s) Tabla 12-1

- Diámetro de la cámara de mezcla**

Se emplea relaciones de geometría:

$$V = \frac{\pi * DT^3}{4} * \frac{a}{b}$$

Ecuación 56

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{TM} * a}{\pi * b}}$$



Dónde:

DT= diámetro de la cámara de mezcla (m)

$V_{TM}$ = volumen ( $m^3$ )

a = relación de geometría, adimensional (3) - Tabla 12-1

b = relación de geometría, adimensional (3,5) - Tabla 12-1

- **Profundidad de la cámara de mezcla**

Se calcula el ancho que deberá tener el tanque mediante la siguiente expresión:

$$H = b * \frac{DT}{a}$$

Dónde:

H= Profundidad de la cámara de mezcla (m)

DT= diámetro de la cámara de mezcla (m)

a = relación de geometría, adimensional (DT/D=3) - Tabla 12-1

b = relación de geometría, adimensional (H/D=3,5) - Tabla 12-1

- **Diámetro de la turbina**

El diámetro que tiene el disco de la turbina que genera la rotación se calcula utilizando relaciones de geometría y aplicando la siguiente ecuación:

$$D = \frac{DT}{a}$$

Dónde:

D= diámetro de la turbina (m)

DT= diámetro de la cámara de mezcla (m)

a = relación de geometría, adimensional: 3

- **Ancho de los deflectores**

Los deflectores generan una mayor mezcla por lo que calcular su diametro es de suma importancia.

$$Wd = \frac{D}{10}$$

Dónde:

Wd= ancho de los deflectores (m)

D= diámetro de la turbina (m)

- **Dimensiones de las paletas**

El alto y la longitud de las paletas se conoce empleando las siguientes ecuaciones:

$$B = \frac{D}{4}$$

Ecuación 61

$$W = \frac{D}{4}$$

Ecuación 62

Dónde:

B= longitud de la paleta (m)

W= alto de la paleta (m)

D= diámetro de la turbina (m)

- **Potencia aplicada al agua residual**

Es la potencia de mezcla adecuada para no romper los flocs y se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = u * V_{TM} * G^2$$

Ecuación 63

Dónde:

P= potencia (Watt)

$u$ = viscosidad dinámica (N·s/m<sup>2</sup>) - Tabla 14-1

$V_{TM}$ = volumen (m<sup>3</sup>)

$G^2$ = gradiente de velocidad (s<sup>-1</sup>) - Tabla 13-1

**Tabla 13 – 1:** Parámetros de diseño para mezcladores de turbina

Parámetro	Medida
Gradiente de velocidad (s <sup>-1</sup> )	500-1000
Tiempo de retención	1-7

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992

**Tabla 14 – 1:** Densidad y viscosidad dinámica del agua a distintas temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad Dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática cm <sup>2</sup> /s
15	999,19	1,139·10 <sup>-3</sup>	
16	999,03		
17	999,86		
18	999,68		
20	999,49	1,102·10 <sup>-3</sup>	0,0101

Fuente: ROBERTH, 2013

- **Velocidad de Rotación**

Son las rpm generadas para que se produzca una mezcla uniforme:

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{k * \rho * D^5}}$$

Ecuación 64

Dónde:

N= velocidad de rotación (rpm)

P= potencia (Watt)

k= número de potencia (adimensional) – Tabla 15-1

$\rho$ = densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

D= diámetro de la turbina (m)

**Tabla 15 – 1:** Número de potencia para diferentes tipos de impulsores

<b>Impulsor</b>	<b>N° de potencia k</b>
Hélice pinch cuadrada, 3 aletas	0,32
Hélice pinch 2, 3 aletas	1,0
Turbina, 6 aletas planas	6,3
Turbina, 6 aletas curvas	4,8
Turbina, 6 aletas punta de flecha	4,0
Turbina ventilador, 6 aletas	1,65

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992

- **Espesor de las paletas del impulsor**

$$q = \frac{D}{5}$$

Ecuación 65

Dónde:

q= ancho de las paletas del impulsor (m)

D= diámetro de la turbina (m)

- **Diámetro del disco central**

Para determinar el diámetro del disco de la turbina se emplea la siguiente fórmula:

$$S = \frac{DT}{4}$$

Ecuación 66

Dónde:

S= diámetro del disco central (m)

DT= diámetro de la cámara de mezcla (m)

- **Altura del impulsor respecto al fondo del tanque**

$$h = \frac{D}{1}$$

Ecuación 67

Dónde:

h= altura del impulsor respecto al fondo del tanque (m)

D= diámetro de la turbina (m)

#### 1.2.4.1 Lecho de secado

Son sistemas sencillos y de bajo costo, cuya función es la deshidratación de los lodos resultantes en el tratamiento, su acción se da mediante la evaporación por acción del sol. El residuo final, después de ser estabilizado, puede ser utilizado en el acondicionamiento de suelos o trasladados hacia un vertedero (Romero, 2004).

El lecho de secado generalmente es uno de los últimos componentes en un sistema de tratamiento de aguas residuales. Esto debido a que la mayor cantidad de lodos provienen en los últimos procesos como: tanques mezcladores, sedimentadores, o de un filtro anaeróbico de flujo ascendente.

En la siguiente tabla se muestran las ventajas y desventajas de un lecho de secado

**Tabla 16 – 1: Ventajas y desventajas del lecho de secado**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
No requiere operaciones especializadas	Requiere espacios grandes
Bajo consumo de energía	Visible al público
Poco sensible a cambios en las características del lodo	Sensible a cambios de clima
Contenido alto de sólidos en los lodos	Gran mano de obra para la remoción de residuos

Fuente: (Romero, 2004).

Para la adecuación de la capa de arena del lecho de secado, la arena debe ser reemplazada cada vez que se remueva el lodo seco hasta obtener el espesor original, ya que cada vez que se remuevan los lodos se pierde una cierta capa de arena.

- **Carga de sólidos en suspensión**

$$C = \frac{P_f * Per}{1000}$$

Ecuación 68

Dónde:

C = carga de sólidos en suspensión (Kg<sub>ss</sub>/día)

P<sub>f</sub> = población futura

Per = contribución per cápita

- **Masa de los sólidos que conforman los lodos**

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Dónde:

$M_{sd}$  = masa de sólidos que conforman los lodos (Kg<sub>ss</sub>/día)

C = carga de sólidos en suspensión (Kg<sub>ss</sub>/día)

- **Volumen diario de lodos digeridos**

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\%sólidos}{100} \right)}$$

Dónde:

$V_{DL}$  = volumen diario de lodos digeridos (m<sup>3</sup>)

$M_{sd}$  = masa de sólidos que conforman los lodos (Kg<sub>ss</sub>/día)

$\rho_{lodo}$  = densidad del lodo (kg/L)

- **Volumen de lodos a extraerse del tanque**

El tiempo requerido para la digestión de lodos se encuentra en relación a la temperatura como se describe en la tabla.

$$V_{LE} = \frac{V_{LD} * t_{DE}}{1000}$$

Dónde:

$V_{DL}$  = volumen diario de lodos digeridos (m<sup>3</sup>)

$V_{LE}$  = volumen de lodos a extraerse del tanque (m<sup>3</sup>)

$t_{DE}$  = tiempo de digestión (días) – Tabla 17-1.

**Tabla 17-1:** Tiempo requerido para digestión de lodos

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163)

- **Área del lecho de secado**

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Dónde:

$A_{LS}$  = área del lecho de secado (m<sup>2</sup>)

$V_{LE}$  = volumen de lodos a extraerse del tanque (m<sup>3</sup>)

$H_d$  = profundidad de aplicación (m)

- **Longitud del lecho de secado**

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

Ecuación 73

Dónde:

$A_{LS}$  = área del lecho de secado ( $m^2$ )

$L_{LS}$  = longitud del lecho de secado (m)

$b_{LS}$  = ancho del lecho de secado (m)

- **Volumen del lecho destinado a la descarga de lodos**

$$V_{TL} = L_{LS} * b_{LS} * H_d$$

Ecuación 74

Dónde:

$V_{TL}$  = volumen del terreno ( $m^3$ )

$L_{LS}$  = longitud del lecho de secado (m)

$H_d$  = profundidad de aplicación (m)

$b_{LS}$  = ancho del lecho de secado (m)

- **Intervalo de tiempo para desalojar el lodo**

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_p}$$

Ecuación 75

Dónde:

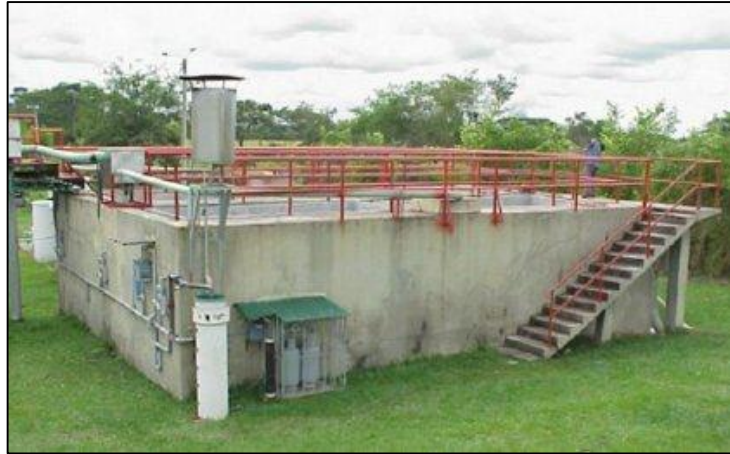
$T_{DL}$  = área del lecho de secado ( $m^2$ )

$V_{TL}$  = volumen del terreno ( $m^3$ )

$Q_p$  = caudal punta ( $m^3/s$ )

### **1.2.5 Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)**

Estos filtros son incluso utilizados en plantas de purificación de agua por su eficacia para desnitrificar efluentes. Están conformados por un tanque relleno de un medio sólido para el soporte del crecimiento biológico anaerobio, las bacterias retenidas, el agua residual se pone en contacto con este medio que permanece como una película microbial adherida. El riesgo de taponamiento es mínimo ya que el flujo es ascendente. El tiempo de retención que se aconseja es de 12 a 36 horas (Crites & Tchobanoglous, 2000).



**Figura 7 – 1:** Filtro anaeróbico de flujo ascendente, Ginebra – Colombia. 6000 habitantes.  
Fuente: <https://www.estrucplan.com.ar>

**Tabla 18 – 1:** Criterios de diseño para el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente

Parámetro	Rango	Unidad
* Profundidad útil	No menor a 1,80	m
* Ancho	0,85 – 5,40	m
* Volumen útil mínimo	No menor a 1,25	m <sup>3</sup>
* Profundidad media soporte	No menor a 1,2	m
* Salida del efluente	No menor a 30 sobre el lecho	cm
Tiempo de retención	6 - 36	h
Carga orgánica	1 – 30	KgDQO/m <sup>3</sup> d
Velocidad del flujo	<10	m/días
Edad de lodos	0,5 – 5	días
Distancia entre orificios de entrada	1 - 2	m

\*Fuente: Norma Brasileira ABNT

Fuente: Norma RAS, 2000.

- **Volumen del filtro**

$$V_f = Q_p * T_r$$

Ecuación 76

Dónde:

$V_f$ = volumen del filtro (m<sup>3</sup>)

$T_r$ = tiempo de retención (h) – Tabla 18-1.

$Q$ = Caudal punta (m<sup>3</sup>/h)

- **Área horizontal del filtro**

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

Ecuación 77

Dónde:

$V_f$ = volumen del filtro (m<sup>3</sup>)

$A_f$  = área horizontal del filtro ( $m^2$ )

$H_u$  = Profundidad útil del filtro (m) – Tabla 18-1.

- **Longitud del filtro**

$$L = \frac{A_f}{b}$$

Ecuación 78

Dónde:

$L$  = longitud del filtro (m)

$A_f$  = área horizontal del filtro ( $m^2$ )

$b$  = ancho del filtro (m) – Tabla 18-1.

- **Altura total de la cámara**

$$H_{Tf} = H_u + 0,30$$

Ecuación 79

Dónde:

$H_{Tf}$  = altura total de la cámara (m)

$H_u$  = Profundidad útil del filtro (m)

### **1.2.6 Desinfección**

El proceso de desinfección tiene la finalidad de destruir los microorganismos perjudiciales. El método más común es empleando derivados de cloro, y su eficacia se relaciona directamente con los tratamientos previos realizados al agua residual.

- **Volumen del tanque de cloración**

Para el proceso de desinfección se emplea el diseño del tanque de cloración, calculando el volumen con la siguiente expresión:

$$V_{Cl} = Q * T_r$$

Ecuación 80

Dónde:

$V_{Cl}$  = volumen del tanque de cloración ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$T_r$  = tiempo de retención: 1800s - Sugerido por la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG.

- **Altura del tanque**



Para el diseño de la altura se utilizará el parámetro de diseño establecido por Muñoz Balarezo, demanda de cloro para aguas en 1992:

$$\text{Área} = 9 * 5 = 45m^2$$

$$H_{tanque} = \frac{V_{Cl}}{A}$$

Ecuación 81

Dónde:

$H_{tanque}$ = altura del tanque (m)

$V_{Cl}$ = volumen del tanque ( $m^3$ )

$A$ = Área ( $45m^2$ )

### 1.2.6.1 Dosificación del desinfectante

- **Dosis de Hipoclorito de calcio (HTH) para la preparación de la solución madre**

$$D_{HTH} = 0,012 * Q * C$$

Ecuación 82

Dónde:

$D_{HTH}$ = dosis de hipoclorito de calcio (lb/día)

0,012= constante adimensional

$Q$ = caudal (gal/min)

$C$ = concentración de hipoclorito de calcio (mg/L)

- **Volumen de agua para diluir el Hipoclorito de calcio (HTH) para la preparación de la solución madre**

$$V_{AHTH} = \frac{m_{HTH}}{\rho_{HTH}}$$

Ecuación 83

Dónde:

$V_{AHTH}$ = volumen de agua para diluir HTH (L)

$m_{HTH}$ = masa de HTH (g)

$\rho_{HTH}$ = densidad de HTH (g/L)

- **Volumen de la solución madre**

$$V_{SM} = \frac{V_{AHTH} * 65\%}{8,5\%}$$

Ecuación 84

Dónde:

$V_{SM}$ = volumen de la solución madre (L)

$V_{ATH}$ = volumen de agua para diluir HTH (L)

### **1.3 Norma para el tratamiento del Agua Residual**

El desarrollo del presente estudio se regirá a las normas exigidas por el TULSMA (texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente), Libro VI, Anexo I. Tabla 12. Recurso agua.

El detalle y contenido de la norma se encuentra en el Anexo A.

## CAPITULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Localización de la investigación

El presente proyecto de investigación para el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales se realizó en el sector denominado Suquibí de la Parroquia de San Luis de Pambil, que se encuentra ubicada al Noroeste de la Provincia Bolívar en el subtrópico, es parroquia rural del Cantón Guaranda y cuenta con una extensión de 302 km<sup>2</sup>, está conformado por los siguientes recintos: La Chongona, El Porvenir, Santa Rosa de Lima, Tabanal Chico, Tabanal Grande, La Y, Suquibí, Campo Bello, La Delicia, La Libertad, San Luís de las Mercedes. Limita al norte con la provincia de Cotopaxi y los Ríos, al sur con los cantones Las Naves, Echeandía y Salinas, al este con la parroquia Facundo Vela y Salinas, y al oeste con el cantón Las Naves.

#### 2.2 Tipo de estudio

El tipo de estudio de esta investigación es descriptivo – cuantitativo ya que nos permite una descripción de los hechos observados, logrando mediante la aplicación de métodos volumétrico y gravimétricos la correlación de las variables, basándose en la estrategia para la recolección de datos, la manera de obtenerlos, el muestreo y otros componentes del proceso de investigación, identificando las leyes generales relacionadas al estudio empleando mediciones sistemáticas para el análisis estadístico como característica resultante.

#### 2.3 Recolección de información

**Tabla 19 – 2: Recolección de muestras**

<b>Fundamento</b>	<b>Materiales</b>	<b>Procedimiento</b>
Basado en la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.	Recipientes de vidrio borosilicato para caracterizaciones físico - químico, bolsas estériles Whirl - Pak para caracterizaciones bacteriológicas.	Recolección de dos muestras en un intervalo de tiempo de 15 minutos para luego hacer una muestra compuesta, el volumen aproximado es de 1 litro, la toma es en las horas pico.

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 2.3.1 Muestreo y caracterización físico- químico y microbiológico del agua residual

A continuación se especifican los materiales y equipos utilizados para el muestreo y caracterización de las diversas muestras de agua residual.

**Tabla 20 – 2:** Materiales, equipos y reactivos utilizados para el muestreo y caracterización

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Tabla de Registro	Fotómetro	Alkaline cyanide
Mandil	Espectrofotómetro	Aluver
Guantes	Potenciómetro	Ampollas endo
Vasos de precipitación	Conductímetro	Ampollas m-colibblue
Pipetas	Turbidímetro P	Ascorbic acid
Buretas	Turbidímetro N	BariVer 4 Barium
Probetas	Colorímetro	Bleaching 3
Gradilla	Balanza Analítica	Buffer pH 4.0
Para film	Destilador de agua	Buffer pH 7.0
Erlenmeyer	Incubadora	Chromater 3
Pisetas	Autoclave	Reactivo acido cromo
Pad absorbente	Estufa	Cromo 1
	Reverbero	Cromo 2
	Bomba al vacío	Cuver 1

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

**Tabla 21 – 2: Parámetros analizados**

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>		
COLOR	UTC	COLORIMETRICO. REF1001/S502
TURBIEDAD	NTU	NEFELOMÉTRICO. REF1001/S505
pH	.....	POTENCIOMÉTRICO. REF1001/S503
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	CONDUCTIVIMÉTRICO. REF1001/S501
STD	mg/L	CONDUCTIVIMÉTRICO. REF1001/S504
TEMPERATURA	° C	CONDUCTIVIMÉTRICO / POTENCIOMÉTRICO. REF1001/S501
<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>		
NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S514
NITRITOS (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S515
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S511
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S516
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S517
FLUORUROS (F)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S510
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S512
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S513
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S508
COBRE (Cu)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S507
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	TITULOMÉTRICO (EDTA)
ALUMINIO (Al <sup>+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S518
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S522
NIQUEL (Ni)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S526
COBALTO (Co)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S523
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S529
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S531
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S528
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S521
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S519
BROMO (Br)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S520
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S525
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF1001/S524
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. Standard Methods No. 4500 D
DQO	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. Standard Methods No. 5220 D
DBO <sub>5</sub>	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. Standard Methods No. 5210 D
<b>PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS</b>		
ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL	FILTRACIÓN DE MEMBRANA AL VACIO. REF1001/36013
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	FILTRACIÓN DE MEMBRANA AL VACIO. REF1001/36002

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

### 2.3.2 Determinación del caudal

A continuación se detallan los materiales y equipos utilizados en la determinación del caudal.

**Tabla 22 – 2: Materiales y equipos para medición del caudal**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Balde graduado de 40 litros Cuaderno Esferográfico	Cronómetro Cámara fotográfica

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

El caudal del agua residual que genera la parroquia San Luis de Pambil no tiene un flujo constante, lo que determinó que se utilice el método volumétrico, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Se procedió a realizar aforaciones directas del agua residual que llega a unos pozos que luego descargan al cuerpo receptor, con la ayuda de una balde graduado de 40 litros y un cronometro determinado el tiempo de llenado.
- b) Las aforaciones se realizó en horas pico, es decir, considerando el mayor volumen de agua residual generada, desde las 06H00 – 07H00, 12H00 – 13H00 y 17H00 – 19H00, en intervalos de tiempo de 15 minutos.
- c) La determinación del aforo se realizó miércoles y viernes, tomando en cuenta que es una parroquia pequeña y que estos días son de mayor movimiento social y económico, los meses monitoreados fueron julio, agosto, septiembre y octubre.
- d) Con los datos obtenidos se realizó la tabulación de los registros para su posterior consolidación por días, semanas y según lo establecido en lo programado.
- e) Se calculó el caudal punta a partir de las tabulaciones y consolidaciones, fundamentando el promedio del caudal más alto y se incrementó el 5 % por presencia de imprevistos que suelen presentarse en la época invernal.

**Tabla 23 – 2:** Aforo de caudal agua residual mes de Julio

<b>JULIO</b>			
Fecha	Horario / Caudal (L/s)		
	06H00 - 07H00	12H00 - 13H00	17H00 - 19H00
1	37,2	28,25	35,25
3	33,5	29,75	32,2
8	29,9	32,9	34,7
10	30	31,5	32,1
15	35,3	30,6	33,25
17	33,9	31,5	32,75
22	33,75	27,7	31,2
24	29,7	35,5	29,8
29	31,8	29,6	33,3
31	34,5	29,65	28,9
$\bar{X}$	32,96	30,70	32,35
Caudal promedio = <b>32,00</b>			

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

**Tabla 24 – 2:** Aforo de caudal agua residual meses Agosto - Septiembre

<b>AGOSTO - SEPTIEMBRE</b>			
Fecha	Horario / Caudal (L/s)		
	06H00 - 07H00	12H00 - 13H00	17H00 - 19H00
5	26,3	29,3	30,5
7	29,3	26,8	30,5
12	25,5	23,1	29,2
14	26,15	29,5	30
19	22,5	30,5	31,4
21	25	29	27,4
26	28,4	33,8	21,3
28	20,5	26,8	31,8
2	28,3	25,4	28,2
4	27	30,1	38
$\bar{X}$	25,90	28,43	29,83
Caudal promedio = <b>28,05</b>			

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

**Tabla 25 – 2:** Aforo de caudal agua residual meses Septiembre - Octubre

<b>SEPTIEMBRE - OCTUBRE</b>			
Fecha	Horario / Caudal (L/s)		
	06H00 - 07H00	12H00 - 13H00	17H00 - 19H00
9	19,9	19,5	19,7
11	21,4	19,3	19,5
16	19,3	19,8	24,2
18	17,1	18,1	18,2
23	20,5	20,8	21,8
25	21,3	19,3	20,39
30	19	21,2	17,5
2	22,5	26,3	18,9
7	17,9	24	23,5
9	19	23,6	21,5
$\bar{X}$	19,79	21,19	20,52
Caudal promedio = <b>20,50</b>			

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

## 2.4 Metodología

### 2.4.1 Métodos y Técnicas

#### 2.4.1.1 Métodos

Para este proyecto se considera tres tipos de métodos: inductivo, deductivo y experimental lo que permite realizar una investigación interpretativa centrándose a controlar el fenómeno a estudiar con el empleo del razonamiento hipotético – deductivo, empleando muestras representativas, diseño experimental como estrategia de control y metodología cuantitativa para analizar los datos obtenidos mediante la observación y registro minucioso de todo aquello a analizar, lo que permite aplicar mediante operaciones lógico matemáticas interpretaciones a nivel de escalas nominal y ordinal.

#### 2.4.1.2 Técnicas

La caracterización físico – químico y microbiológico, se basan en las normas y técnicas que se encuentran establecidas en el manual de procedimientos técnicos del laboratorio de control de calidad de la E.P – EMAPA-G, Anexo E y Anexo F, fundamentados en el (Estándar Methods for Examination of Water and Wastewater) especificados en la última edición y el manual de Análisis de Agua, Métodos HACH.



#### **2.4.2 Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual**

La parroquia de San Luis de Pambil no cuenta con un sistema de tratamiento de agua residual, posee un solo alcantarillado donde se recogen las aguas de origen sanitario y pluvial, mismas que son conducidas por tubería de 200 mm a dos tanques de aproximadamente 150 m<sup>3</sup> que están a 5 kilómetros de la parroquia, estos tanques cumplen la función de decantar los sólidos para posteriormente ser descargados al río Suquibí, este pretratamiento colapsa en época de invierno y verano por no tener la capacidad de almacenamiento adecuada, además de considerar que la mayoría de componentes del alcantarillado no reciben un adecuado mantenimiento, existiendo reboses de estos tanques permanentemente.



**Figura 8 – 2:** Tanques de almacenamiento de la parroquia San Luis de Pambil

Fuente: Alexis Lema, 2015.

#### **2.4.3 Análisis**

Mediante experimentos de campo y laboratorio se realizó caracterizaciones físico- químico y microbiológico obteniendo resultados que luego de su respectiva tabulación estadística, permitieron establecer las distintas variables para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, al tiempo se estableció análisis comparativos para identificar los parámetros bajo la normativa vigente TULSMA, Tabla 12, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 26 – 2:** Caracterización físico – químico y microbiológico del agua residual de la descarga al cuerpo receptor

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	SEMANA MONITOREADA		
		Lim.Max.Per	03-ago	05-ago	10-ago
COLOR	UTC	Ina. en dis	90.00	85.00	120.00
TURBIEDAD	NTU	.....	43.12	30.61	60.68
pH	.....	.....	7.65	7.32	7.85
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	237.74	209.52	324.96
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	156.03	140.06	170.94
TEMPERATURA	° C	.....	18.31	17.94	18.12
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	20.35	25.75	30.72
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	3.07	2.97	3.62
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	21.64	24.81	26.49
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	5.00	8.00	10.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	6.00	6.57	6.04
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	6.65	7.40	6.48
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.563	0.839	0.541
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.5	0.23	0.19	0.20
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.51	0.84	0.75
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	400.00	360.00	520.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.045	0.032	0.079
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	346.58	398.35	468.79
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.28	0.37	0.26
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.24	0.42	0.25
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008	0.006
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.47	0.52	0.67
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.006	0.007	0.007
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.008	0.006	0.008
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.63	1.79	1.41
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.006	0.007	0.007
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007	0.008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.13	0.19	0.18
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	2.00	2.00	3.00
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	9045	8624	9561
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	250	4076	4362	4598
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	400	500	700
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	120	270	270

Fuente: Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P – EMAPA-G

**Tabla 27 – 2:** Caracterización físico – químico y microbiológico del agua residual de la descarga al cuerpo receptor

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	SEMANA MONITOREADA		
		Lim.Max.Per	12-ago	17-ago	26-ago
COLOR	UTC	Ina. en dis	60.00	40.00	100.00
TURBIEDAD	NTU	.....	54.00	39.64	63.60
pH	.....	.....	7.69	7.30	7.80
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	198.75	167.42	176.39
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	86.43	63.45	75.38
TEMPERATURA	° C	.....	18.42	18.95	19.98
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	15.10	20.83	32.65
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	4.20	3.64	3.08
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	2.40	2.64	2.45
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	4.00	10	8.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	5.35	6.00	6.24
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	6.36	5.9	7.30
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.648	0.785	0.813
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.5	0.23	0.19	0.18
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.45	0.36	0.40
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	250.00	320.00	400.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.04	0.04	0.05
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	420.170	341.040	370.260
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.38	0.23	0.36
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.32	0.46	0.30
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.007	0.008	0.008
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.50	0.48	0.59
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.007	0-007	0.008
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.007	0.007	0.008
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.50	1.43	1.39
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.007	0.008	0.008
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.007	0.007	0.005
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.31	0.24	0.27
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	3.00	2.00	2.00
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	8963	8470	8204
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	250	3782	4082	4028
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	520	600	680
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	258	324	420

Fuente: Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P – EMAPA-G

**Tabla 28 – 2** Caracterización físico – químico y microbiológico muestras compuestas del agua residual de la descarga al cuerpo receptor

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	Muestras compuestas	
		Lim.Max.Per	07-ago	21-ago
COLOR	UTC	Ina. en dis	250.00	186.00
TURBIEDAD	NTU	.....	102.63	87.49
pH	.....	.....	7.70	7.50
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	260.64	170.52
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	120.05	150.78
TEMPERATURA	° C	.....	18.94	18.84
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	25.07	22.00
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	5.93	6.48
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	3.12	3.67
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	6.00	9.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	5.86	6.71
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	7.15	6.83
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.754	0.869
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.5	0.25	0.21
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.48	0.46
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	300.00	312.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.005	0.007
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	430.670	410.380
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.40	0.35
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.36	0.48
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.35	0.50
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.006	0.008
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.42	1.64
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.009	0.008
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.37	0.25
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	2.00	2.00
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	9626	8943
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	250	4639	3781
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	580	620
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	246	294

Fuente: Dirección Técnica – Laboratorio de Control de Calidad E.P – EMAPA-G

#### 2.4.3.1 Prueba de jarras

Para la realización de la prueba de jarras se utilizó el polímero Policloruro de Aluminio PAC – P25A y el auxiliar anionico chemfloc N – 100, se consideró dos muestras compuestas en donde la turbiedad oscilaba entre (186 – 250) NTU, así también luego de un tiempo prudente al momento de la respectiva agitación se utilizó Sulfato de Aluminio y Cal que permitió la eliminación de olores que emanaban de las muestras, la dosificación de estos productos químicos se efectuó a diferentes concentraciones, mismos que se muestran en la Tabla 43-3 y Tabla 44-3.

**Tabla 29 – 2:** Materiales, equipos y reactivos para la prueba de jarras

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Mandil Mascarilla Guantes Vasos de precipitación Balones de aforación Jeringuillas Espátula Piseta	Test de Jarras Balanza analítica Cronómetro	Poli cloruro de aluminio (PAC-P25A) Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100) Cal T-30 Sulfato de aluminio

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

Para las pruebas se utilizó un vaso de precipitación con agua residual como control, se determinó la turbiedad antes y después de cada etapa, también se realizó la caracterización general al inicio y final de cada prueba para determinar el rendimiento de remoción.

Para determinar las dosis óptimas. Se preparó las disoluciones de Poli cloruro de aluminio PAC-P25A, auxiliar de coagulación Chemfloc N-100, cal T-30 y de sulfato de aluminio a diferentes concentraciones, por recomendación técnica. El equipo se utilizó en mezcla rápida (100 rpm). Se inyectó los reactivos con jeringas hipodérmicas. Se suspendió la agitación y se dejó reposar las jarras por diez minutos. Finalmente se tomó muestras para los análisis de cada muestra.

## CAPITULO III

### 3. CÁLCULOS DE DISEÑO

#### 3.1 Determinación de la población futura para diseño

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario proyectar hacia una población futura, tomando en cuenta el último censo poblacional de la Parroquia San Luis de Pambil en el año 2010. Este cálculo se realiza aplicando la ecuación 4:

$$P_f = P_a \left( 1 + \frac{r}{100} \right)^t$$

Datos:

$P_a$  = Población actual: 6500 habitantes

$r$  = Índice de crecimiento anual: 1% - Según INEC; Población y Tasas de crecimiento.

$t$  = tiempo de diseño: 15 años – Requerimiento de EP-EMAPAG.

$$P_f = 6500 \left( 1 + \frac{1}{100} \right)^{15}$$

$$P_f = 7546 \text{ hab}$$

#### 3.2 Cálculo de Caudales

- **Cálculo del agua consumida por cada habitante en el día**

El cálculo del agua consumida por cada habitante en el día se determina aplicando la ecuación 5:

Datos:

$Q_{prom}$  = medición promedio del caudal meses de agosto y septiembre Tabla 24-2 y Tabla 25-2.

$$D_c = \frac{Q_{prom} * 1000 \text{ L/m}^3}{P_a}$$

$$D_c = \frac{2319,84 \text{ m}^3/\text{dia} * 1000 \text{ L/m}^3}{6500 \text{ hab}}$$

$$D_c = 356,89 \frac{\text{L}}{\text{hab} \cdot \text{dia}}$$

- **Cálculo del caudal servido**

Se emplea la ecuación 6:

Dato:

$P_f$  = 7546 habitantes

$$Q_s = \frac{P_f * D_c}{1000(L/m^3)}$$

$$Q_s = \frac{7546 \text{ hab} * 356,89 \text{ L/hab} \cdot \text{día}}{1000(L/m^3)}$$

$$Q_s = 2693,09 \text{ m}^3/\text{día}$$

- **Cálculo del caudal medio diario**

El caudal medio diario está dado por la ecuación 7.

Dato:

$K_1$  = constante para el caudal medio diario = 0,6

$$Q_{md} = K_1 * Q_s$$

$$Q_{md} = 0,6 * 2693,09 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{md} = 1615,85 \text{ m}^3/\text{día}$$

- **Cálculo del caudal de diseño**

Es el  $Q_{md}$  expresado en ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), y se determina mediante la ecuación 8.

$$Q_d = Q_{md}/24$$

$$Q_d = \frac{1615,85 \text{ m}^3/\text{día}}{24}$$

$$Q_d = 67,33 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Cálculo del caudal mínimo diario**

Se utiliza la ecuación 9.

Dato:

$K_{min} = 0,3$  está ligado a periodos de sequía.

$$Q_{min} = K_{min} * Q_{md}$$

$$Q_{min} = 0,3 * 1615,85 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{min} = 484,75 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{min} = 20,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

- **Cálculo del caudal punta**

Se aplica la ecuación 10.

Dato:

$K_p$  = Se considera 3 veces el  $Q_{md}$  durante épocas secas, y 5 veces en épocas de lluvia (Isla de Juana, 2005).

$$Q_p = K_p * Q_{md}$$

$$Q_p = 5 * 1615,85 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_p = 8079,25 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_p = 336,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_p = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.3 Dimensionamiento del Sistema de Tratamiento

#### 3.3.1 Diseño de las Rejillas

Se utilizará rejillas de limpieza manual, por su bajo costo y fácil limpieza. Además la limpieza deberá ser periódicamente para evitar desbordes en el canal que son producidos por la obstrucción de residuos o basuras.

- **Cálculo de la velocidad de entrada del agua residual**

Para el cálculo de la velocidad de entrada del agua residual se utiliza la ecuación 11 conocida como la ecuación de Manning.

$$v = \frac{1}{n} R h^{2/3} S^{1/2}$$

Datos:

S = Pendiente: Dato de los planos del levantamiento topográfico 1%

Rh = Radio hidráulico: 0,11 m - Sugerido por la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG

n = Coeficiente de Manning: Material de concreto 0,013 - Tabla 3-1

$$v = \frac{1}{0,013} (0,11)^{2/3} (0,001)^{1/2}$$

$$v = 0,56 \text{ m/s}$$

- **Cálculo del área libre al paso del agua o área transversal:**

Se aplica la ecuación 12.

Dato:

$$Q_p = 0,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_L = \frac{Q_p}{v}$$

$$A_L = \frac{0,09 \text{ m}^3/\text{s}}{0,56 \text{ m/s}}$$

$$A_L = 0,16 \text{ m}^2$$



- **Cálculo de la altura del tirante en el canal o Altura efectiva**

Se utiliza la ecuación 13.

Dato:

b = ancho del canal: 0,50 m - Dato propuesto por la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG, utilizado en otras plantas de tratamiento de agua residual del cantón Guaranda.

$$h_a = \frac{A_L}{b}$$

$$h_a = \frac{0,16m^2}{0,50m}$$

$$h_a = 0,32m$$

- **Cálculo de la longitud de las barras**

Se utiliza la ecuación 14 y la Tabla 5-1.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}\alpha}$$

Dato:

$\alpha$  = ángulo de inclinación de las barras: 50° - Tabla 4-1

$$L_b = \frac{0,32m}{\text{sen}50^\circ}$$

$$L_b = 0,41m$$

- **Cálculo del número de barras**

Se aplica la ecuación 15.

Datos:

e = Separación entre barras: 0,02 m - Tabla 2-1

S= espesor de las barras: 0,0127 m - Tabla 4-1

$$N_b = \frac{b}{e + S}$$

$$N_b = \frac{0,50m}{(0,02 + 1,27 \cdot 10^{-2})m}$$

$$N_b = 15,29 \cong 15 \text{ barras}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga**

Se emplea la ecuación 16.

Datos:

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de las barras: 2,42 - Tabla 5-1

e = Separación entre barras: 0,02 m - Tabla 2-1

S= espesor de las barras: 0,0127 m - Tabla 4-1

v = Velocidad del agua residual: 0,56 m/s

g = Gravedad: 9,8 m/s<sup>2</sup>

α = Ángulo de inclinación de las barras: 50° - Tabla 4-1

$$h = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \operatorname{sen} \alpha$$
$$h = 2,42 \left( \frac{0,0127m}{0,02m} \right)^{4/3} \left( \frac{0,56^2 m^2}{2(9,8)m/s^2} \right) \operatorname{sen} 50^\circ$$
$$h = 0,016m$$

### 3.3.2 Diseño del Desarenador

El desarenador estará diseñado para la remoción de partículas de 0,01cm<sup>2</sup>. Este valor corresponde a arena fina Tabla 6-1, así se asegura la sedimentación de arena gruesa y grava.

La relación largo y ancho del desarenador será L:B = 2:1.

- **Cálculo de la Velocidad de Sedimentación**

Para arena fina se aplica la ecuación de Stokes, ecuación 17:

$$V_s = \frac{g(\rho_a - \rho)}{18\mu} d^2$$

Datos:

ρ<sub>a</sub> = densidad de la arena: 2,65g/cm<sup>3</sup>

ρ = densidad del agua a 20°C: 1g/cm<sup>3</sup> - Tabla 14-1

d = diámetro de la partícula: 0,01cm - Tabla 6-1

μ = viscosidad cinemática del agua a 20°C: 0,0101cm<sup>2</sup>/s - Tabla 14-1

$$V_s = \frac{980 \frac{cm}{s^2} \left( 2,65 \frac{g}{cm^3} - 1 \frac{g}{cm^3} \right)}{18 \left( 0,0101 \frac{cm^2}{s} \right)} (0,01cm)^2$$
$$V_s = 0,89 \frac{cm}{s}$$

- **Número de Reynolds N<sub>Re</sub>**

Con la ecuación 18.

Datos:

ρ = densidad del agua a 20°C: 1g/cm<sup>3</sup> - Tabla 14-1

d = diámetro de la partícula: 0,01cm - Tabla 6-1

μ = viscosidad cinemática del agua a 20°C: 0,0101cm<sup>2</sup>/s - Tabla 14-1

$$N_{Re} = \frac{V_s * \rho * d}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,89 * 1 * 0,01}{0,0101}$$

$$N_{Re} = 0,88$$

- **Cálculo del tiempo de retención**

Por sugerencia de la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG se asume una profundidad útil (H) de sedimentación de 2 metros, esta altura ha demostrado buenos resultados en plantas de tratamiento de tratamiento del cantón Guaranda.

$$t = \frac{H}{V_s}$$

$$t = \frac{200 \text{ cm}}{0,89 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}$$

$$t = 224,72 \text{ s}$$

- **Cálculo del Periodo de Retención**

Se utiliza la tabla 8-1 y la ecuación 20.

$$a = K * t$$

Dato:

K= coeficiente de remoción de depósito a 87½ para depósitos con buenos deflectores: 2,75 - Tabla 7-1.

$$a = 2,75 * 224,72 \text{ s}$$

$$a = 617,98 \text{ s}$$

$$a = 10,30 \text{ min}$$

- **Cálculo de la capacidad del Desarenador**

Se aplica la ecuación 21.

Dato:

$$a = 10,30 \text{ min} \cong 618 \text{ s}$$

$$C = Q * a$$

$$C = 0,09 \text{ m}^3/\text{s} * 618 \text{ s}$$

$$C = 55,62 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la Superficie del Desarenador**

Se emplea la ecuación 22.

Dato:

H = profundidad útil: 2 m

$$As = \frac{C}{H}$$
$$As = \frac{55,62m^3}{2m}$$
$$As = 27,81m^2$$

- **Cálculo de las Dimensiones del Desarenador**

Para deducir las dimensiones del desarenador se emplea las ecuaciones 23 y 24.

$$B = \sqrt{\frac{As}{2}}$$
$$B = \sqrt{\frac{27,81m^2}{2}}$$
$$B = 3,73 m \cong 4 m$$
$$\frac{L}{B} = 2$$
$$L = 7,46 m \cong 8 m$$

Donde:

B = ancho del desarenador

L = longitud del desarenador

- **Cálculo del Área Total del Desarenador**

Se utiliza la ecuacion 25.

$$A_T = B * L$$
$$A_T = 4m * 8m$$
$$A_T = 32m^2$$

- **Volumen del Desarenador**

Se utiliza la ecuacion 26.

$$V = B * L * H$$
$$V = 4m * 8m * 2m$$
$$V = 64m^3$$

- **Cálculo de la Carga Hidráulica**

Se utiliza la ecuacion 27.

$$q = \frac{Q}{As}$$

$$q = \frac{0,09 m^3/s}{27,81 m^2}$$

$$q = 3,23 \cdot 10^{-3} m^3/m^2/s$$

$$q = 279,71 m^3/m^2/día$$

- **Cálculo del caudal por línea del desarenador**

Se utiliza la ecuación 28.

Dato:

$N_{unidades} = 2$  con fines de limpieza de los desarenadores

$$Q_o = \frac{Q_P}{N_{unidades}}$$

$$Q_o = \frac{0,09 m^3/s}{2}$$

$$Q_o = 0,045 m^3/s$$

- **Cálculo de la Velocidad Horizontal**

Se utiliza la ecuación 29.

$$V_h = \frac{Q_o}{As}$$

$$V_h = \frac{0,045 m^3/s}{27,81 m^2}$$

$$V_h = 1,61 \cdot 10^{-3} m/s$$

- **Cálculo del tirante sobre el vertedero**

Se utiliza la ecuación 30.

$$h_v = \left( \frac{Q_o}{1,84 * B} \right)^{2/3}$$

$$h_v = \left( \frac{0,045 m^3/s}{1,84 * 4 m} \right)^{2/3}$$

$$h_v = 0,03 m$$

### 3.3.3 *Diseño del Canal Parshall*

- **Ancho de la Garganta**

Se determina el ancho del Canal Parshall para un caudal de 90 L/s, mediante la Tabla 8-1:

$$W = 1,83 m$$

- **Cálculo de la altura del agua en la sección de medición**

Se aplica la ecuación 31 y la Tabla 10-1.

$$H_o = K * Q_{punta}^n$$

Datos:

K= 0,389 - Tabla 9-1.

n= constantes: 0,627 - Tabla 9-1

$$H_o = 0,389 * 0,09^{0,627}$$

$$H_o = 0,086 \text{ m}$$

- **Cálculo del ancho de la sección de medición D'**

Se utiliza la ecuación 32 y los datos de la Tabla 10-1.

$$D' = \frac{2}{3} (D^1 - W) + W$$

Datos:

D<sup>1</sup>= Dimensiones de la canaleta: 2,67 m – Tabla 10-1

W = Ancho de la garganta: 1,83 m

$$D' = \frac{2}{3} (2,67 - 1,83) + 1,83$$

$$D' = 2,39 \text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad en la sección de medición**

Se aplica la ecuación 33.

$$V_o = \frac{Q_p}{H_o * D'}$$

$$V_o = \frac{0,09 \text{ m}^3/\text{s}}{0,086 \text{ m} * 2,39 \text{ m}}$$

$$V_o = 0,44 \text{ m/s}$$

- **Carga Hidráulica Disponible**

Para el cálculo de la carga hidráulica disponible se utiliza la ecuación 34 y la Tabla 10-1

$$E_o = \frac{V_o^2}{2g} + H_o + N$$

Dato:

N= dimensiones de la canaleta: 0,229 m – Tabla 10-1

$$E_o = \frac{(0,44 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s})} + 0,086 \text{ m} + 0,229 \text{ m}$$

$$E_o = 0,33 \text{ m}$$

- **Cálculo del caudal específico en la garganta de la canaleta**

Se emplea la ecuación 35.

$$Q_w = \frac{Q_p}{W}$$

$$Q_w = \frac{0,09 \text{ m}^3/\text{s}}{1,83 \text{ m}}$$

$$Q_w = 0,049 \frac{\text{m}^3}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

- **Cálculo del ángulo de Inclinación**

Para calcular el ángulo de inclinación se utiliza la ecuación 36.

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ -\frac{Q_w * g}{\left( \frac{2g * E_o}{3} \right)^{1,5}} * \frac{180}{\pi} \right]$$

$$\theta_p = \cos^{-1} \left[ -\frac{0,049 \frac{\text{m}^3}{\text{m} \cdot \text{s}} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\left( \frac{(2 * 9,8 \text{ m/s}^2) 0,049}{3} \right)^{1,5}} * \frac{180}{\pi} \right]$$

$$\theta_p = 105,38^\circ$$

- **Velocidad antes del resalto**

Para calcular la velocidad antes del resalto se utiliza la ecuación 37.

$$v_1 = 2 \left( \frac{2 E_o * g}{3} \right)^{0,5} * \cos \left( \theta_p * \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 2 \left( \frac{2 * 0,33 * 9,8}{3} \right)^{0,5} * \cos \left( 105,38 * \frac{\pi}{540} \right)$$

$$v_1 = 1,75 \text{ m/s}$$

- **Cálculo de la altura del agua antes del resalto**

Se aplica la ecuación 38.

$$h_1 = \frac{Q_w}{v_1}$$

$$h_1 = \frac{0,049 \frac{\text{m}^3}{\text{m} \cdot \text{s}}}{1,75 \text{ m/s}}$$

$$h_1 = 0,028 \text{ m}$$

- **Numero de Froude**

Se aplica la ecuación 39.

$$F = \frac{v_1}{(gh_1)^{0,5}}$$

$$F = \frac{1,75 \text{ m/s}}{(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,028 \text{ m})^{0,5}}$$

$$F = 3,33$$

- **Cálculo de la altura del agua después resalto**

Se utiliza la ecuación 40.

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

$$h_2 = \frac{0,028 \text{ m}}{2} (\sqrt{1 + 8(3,33)^2} - 1)$$

$$h_2 = 0,13 \text{ m}$$

Se considera una altura de  $2h_2$  para mayor homogeneidad al dosificar los polímeros clarificadores.

$$h_2 = 0,26 \text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad de resalto**

Se aplica la ecuación 41.

$$v_2 = \frac{Q_p}{h_2 * W}$$

$$v_2 = \frac{0,09 \text{ m}^3/\text{s}}{0,26 \text{ m} * 1,83 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0,19 \text{ m/s}$$

- **Cálculo de la altura en la sección de salida del canal**

Se aplica la ecuación 42.

$$h_3 = h_2 - (N - K_1)$$

Datos:

$K_1$ = dimensión de la canaleta: 0,076 m - Tabla 10-1

$N$ = dimensión de la canaleta: 0,229 m - Tabla 10-1

$$h_3 = 0,26 \text{ m} - (0,229 \text{ m} - 0,076 \text{ m})$$

$$h_3 = 0,11 \text{ m}$$

- **Cálculo de la velocidad en la sección de la salida**

Se aplica la ecuación 43.

$$v_3 = \frac{Q_p}{C * h_3}$$

$C$ = Dimensiones de la canaleta: 2,13m - Tabla 10-1



$$v_3 = \frac{0,09 \text{ m}^3/\text{s}}{2,13 \text{ m} * 0,11 \text{ m}}$$

$$v_3 = 0,38 \text{ m/s}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga en el resalto**

Se utiliza la ecuación 44.

Dato = 0,076 m – Tabla 10-1

$$h_R = H_O + K_1 + h_3$$

$$h_R = 0,086 \text{ m} + 0,076 \text{ m} + 0,11 \text{ m}$$

$$h_R = 0,27 \text{ m}$$

- **Tiempo de mezcla en el resalto**

Se utiliza la ecuación 45 y la tabla 10-1.

$$T = \frac{2G'}{v_2 + v_3}$$

G' = Dimensión de la canaleta: 0,915m - Tabla 10-1

$$T = \frac{2 * 0,915 \text{ m}}{(0,19 + 0,38) \text{ m/s}}$$

$$T = 3,2 \text{ s}$$

- **Gradiente de Velocidad**

Se utiliza la ecuación 46 y la Tabla 12-1.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \left(\frac{h_R}{T}\right)^{0,5}$$

Datos:

$\gamma$  = Peso específico: 9789 N/ m<sup>3</sup>

$\mu$  = Viscosidad Absoluta: 1,102 x 10<sup>-3</sup> N·s/ m<sup>2</sup>

$\sqrt{(\gamma/\mu)}$  = Relación peso específico y viscosidad absoluta: 3114.64 - Tabla 11-1

$$G = \sqrt{\frac{9789 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}{1,102 \times 10^{-3} \text{ N s/m}^2}} * \left(\frac{0,27 \text{ m}}{3,2 \text{ s}}\right)^{0,5}$$

$$G = 865,88 \text{ s}^{-1}$$

### 3.3.3.1 Cálculo de la dosificación de productos químicos

- **Cálculo de la dosificación de Policloruro de aluminio (PAC – P25A)**

Se utiliza la ecuación 47.

Datos obtenidos a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

$V_{TM}$  = volumen del tanque mezclador en litros: 55620 L

$D_{PAC \text{ Jarras}}$  = Dosis óptima de PAC en la prueba de jarras: 60 mL

$V_{P. \text{ Jarras}}$  = volumen vaso de precipitación prueba de jarras: 1 L

$$D_{PAC} = \frac{V_{TM} * D_{PAC \text{ Jarras}}}{V_{P. \text{ Jarras}}}$$
$$D_{PAC} = \frac{55620 \text{ L} * 60 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$
$$D_{PAC} = 3337200 \text{ mL} \approx 3337,2 \text{ L}$$
$$D_{PAC} = 3337,2 \text{ L/día}$$

- **Cálculo de la cantidad de Policloruro de Aluminio (PAC – P25A)**

Se utiliza la ecuación 48.

Dato obtenido a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

$Conc_{PAC}$  = Concentración de PAC óptimo en la prueba de jarras: 0,05 g/L

$$C_{PAC} = Conc_{PAC} * D_{PAC}$$
$$C_{PAC} = 0,05 \text{ g/L} * 3337,2 \text{ L/día}$$
$$C_{PAC} = 166,86 \text{ g/día}$$

- **Cálculo de la dosificación del auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)**

Se utiliza la ecuación 49.

Datos obtenidos a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

$V_{TM}$  = volumen del tanque mezclador en litros: 55620 L

$D_{N-100 \text{ Jarras}}$  = Dosis óptima de Chemfloc N-100 en la prueba de jarras: 70 mL

$V_{P. \text{ Jarras}}$  = volumen vaso de precipitación prueba de jarras: 1 L

$$D_{N-100} = \frac{V_{TM} * D_{N-100 \text{ Jarras}}}{V_{P. \text{ Jarras}}}$$
$$D_{N-100} = \frac{55620 \text{ L} * 70 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$
$$D_{N-100} = 3893400 \text{ mL} \approx 3893,4 \text{ L}$$
$$D_{N-100} = 3893,4 \text{ L/día}$$

- **Cálculo de la cantidad del auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)**

Se utiliza la ecuación 50.

Dato obtenido a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

Conc<sub>N-100</sub> = Concentración de Chemfloc N-100 óptimo en la prueba de jarras: 0,8 g/L

$$\begin{aligned}C_{N-100} &= Conc_{N-100} * D_{N-100} \\C_{N-100} &= 0,8 \text{ g/L} * 3893,4 \text{ L/día} \\C_{N-100} &= 3114,72 \text{ g/día}\end{aligned}$$

- **Cálculo de la dosificación de sulfato de aluminio**

Se utiliza la ecuación 51.

Datos obtenidos a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

V<sub>TM</sub>= volumen del tanque mezclador en litros: 55620 L

D<sub>Sulf Jarras</sub> = Dosis óptima de Sulfato de aluminio en la prueba de jarras: 60 mL

V<sub>P. Jarras</sub>= volumen vaso de precipitación prueba de jarras: 1 L

$$\begin{aligned}D_{Sulf} &= \frac{V_{TM} * D_{Sulf Jarras}}{V_{P. Jarras}} \\D_{Sulf} &= \frac{55620 \text{ L} * 60 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \\D_{Sulf} &= 3337200 \text{ mL} \approx 3337,2 \text{ L} \\D_{Sulf} &= 3337,2 \text{ L/día}\end{aligned}$$

- **Cálculo de la cantidad de sulfato de aluminio**

Se utiliza la ecuación 52.

Dato obtenido a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

C<sub>Sulf</sub> = Concentración de Sulfato de aluminio óptimo en la prueba de jarras: 0,05 g/L

$$\begin{aligned}C_{Sulf} &= Conc_{Sulf} * D_{Sulf} \\C_{Sulf} &= 0,05 \text{ g/L} * 3337,2 \text{ L/día} \\C_{Sulf} &= 166,86 \text{ g/día}\end{aligned}$$

- **Cálculo de la dosificación de cal**

Se utiliza la ecuación 53

Datos obtenidos a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

V<sub>TM</sub>= volumen del tanque mezclador en litros: 55620 L

D<sub>Cal Jarras</sub> = Dosis óptima de cal en la prueba de jarras: 20 mL

V<sub>P. Jarras</sub>= volumen vaso de precipitación prueba de jarras: 1 L

$$D_{Cal} = \frac{V_{TM} * D_{Cal Jarras}}{V_{P. Jarras}}$$

$$D_{cal} = \frac{55620 \text{ L} * 20 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$$

$$D_{cal} = 1112400 \text{ mL} \approx 1112,4 \text{ L}$$

$$D_{cal} = 1112,4 \text{ L/día}$$

- **Cálculo de la cantidad de cal**

Se utiliza la ecuación 54.

Dato obtenido a partir de los test de Jarras - Tabla 44-3:

$C_{cal}$  = Concentración de cal óptima en la prueba de jarras: 0,05 g/L

$$C_{cal} = Conc_{cal} * D_{cal}$$

$$C_{cal} = 0,05 \text{ g/L} * 1112,4 \text{ L/día}$$

$$C_{cal} = 55,62 \text{ g/día}$$

### 3.3.4 Diseño del Tanque Mezclador Rápido de Turbina

- **Volumen del tanque mezclador**

Se determina el volumen del tanque mezclador con la ecuación 55.

$$V_{TM} = Q_p * Trh$$

Dato:

$T_{rh}$  = tiempo de retención: 7s - Tabla 12-1

$$V_{TM} = 0,09 \text{ m}^3/\text{s} * 7 \text{ s}$$

$$V_{TM} = 0,63 \text{ m}^3$$

Con fines de diseño se empleará el volumen de la capacidad del desarenador 55,62 m<sup>3</sup>, debido a que el volumen del tanque calculado tiene una capacidad relativamente baja, lo que incide al momento de dosificar los coagulantes retardando este proceso y a que el agua se debería tratar por etapas.

- **Cálculo del diámetro de la cámara de mezcla**

Se aplica la ecuación 57.

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{TM} * a}{\pi * b}}$$

Dato:

a = relación de geometría, adimensional (3) - Tabla 12-1

b = relación de geometría, adimensional (3,5) - Tabla 12-1

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * 55,62 \text{ m}^3 * 3}{\pi * 3,5}}$$

$$DT = 3,93 \text{ m}$$

- **Cálculo de la profundidad de la cámara de mezcla**

Se utiliza la ecuación 58.

$$H = b * \frac{DT}{a}$$

$$H = 3,5 * \frac{3,93 \text{ m}}{3}$$

$$H = 4,50 \text{ m}$$

- **Cálculo del diámetro de la turbina**

Se utiliza la ecuación 59.

$$D = \frac{DT}{a}$$

$$D = \frac{3,93}{3}$$

$$D = 1,30 \text{ m}$$

- **Cálculo del ancho de los deflectores**

Se utiliza la ecuación 60.

$$Wd = \frac{D}{10}$$

$$Wd = \frac{1,30 \text{ m}}{10}$$

$$Wd = 0,13 \text{ m}$$

- **Dimensiones de las paletas**

Se utiliza la ecuación 61 y la ecuación 62.

Donde:

D= diámetro de la turbina (m)

B= longitud de la paleta (m)

W= alto de la paleta (m)

$$B = \frac{D}{4}$$

$$B = \frac{1,30 \text{ m}}{4}$$

$$B = 0,32 \text{ m}$$

$$W = \frac{D}{4}$$

$$W = \frac{1,30 \text{ m}}{4}$$

$$W = 0,32 \text{ m}$$

- **Cálculo de la potencia aplicada al agua residual**

Es la potencia de mezcla adecuada para no romper los flocs y se calcula con la ecuación 63:

Datos:

G = gradiente de velocidad:  $1000\text{s}^{-1}$  – Tabla 12-1

u = viscosidad dinámica:  $1,102 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$  – Tabla 14-1

$$P = u * V_{TM} * G^2$$

$$P = 1,102 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} * 55,62 \text{ m}^3 * (1000\text{s}^{-1})^2$$

$$P = 61293,24 \text{ Watt}$$

- **Cálculo de la velocidad de rotación**

Se aplica la ecuación 64 y la tabla 15-1.

Dato:

k = numero de potencia (adimensional): 6,3 – Tabla 15-1

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{k * \rho * D^5}}$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{61293,24 \text{ Watt}}{6,3 * 999,97 \text{ kg/m}^3 * (1,30\text{m})^5}}$$

$$N = 82,80 \text{ rpm}$$

- **Cálculo del espesor de las paletas del impulsor**

Se utiliza la ecuación 65.

$$q = \frac{D}{5}$$

$$q = \frac{1,30 \text{ m}}{5}$$

$$q = 0,26 \text{ m}$$

- **Diámetro del disco central**

Se utiliza la ecuación 66.

$$S = \frac{DT}{4}$$

$$S = \frac{3,93 \text{ m}}{4}$$

$$S = 0,98 \text{ m}$$

- **Altura del impulsor respecto al fondo del tanque**

Se utiliza la ecuación 67.

$$h = \frac{D}{1}$$

$$h = \frac{1,30 \text{ m}}{1}$$

$$h = 1,30 \text{ m}$$

### 3.3.4.1 Cálculo del lecho de secado

- **Carga de sólidos en suspensión**

La contribución per cápita es la cantidad generada de sólidos suspendidos por habitante y por día. Por caracterización del agua se tiene que los SS = 30 mg/L, y un caudal punta de 7776 m<sup>3</sup>/día.

$$30 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1}{7546 \text{ hab}} * \frac{7776 \text{ m}^3}{1 \text{ día}} * \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 30,91 g_{ss}/\text{hab. día}$$

El cálculo de la carga de sólidos en suspensión en función a la contribución per cápita con la ecuación 68.

Dato:

P<sub>f</sub> = 7546 habitantes

$$C = \frac{P_f * Per}{1000}$$

$$C = \frac{7546 \text{ hab} * 30,91 g_{ss}/\text{hab. día}}{1000}$$

$$C = 233,24 \text{ Kg}_{ss}/\text{día}$$

- **Masa de los sólidos que conforman los lodos**

Mediante la ecuación 69.

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 233,24) + (0,5 * 0,3 * 233,24)$$

$$M_{sd} = 75,79 \text{ Kg}_{ss}/\text{día}$$

- **Cálculo del volumen diario de lodos digeridos**

Según OPS/CEPIS/05.163, la densidad de lodos es de 1,04 kg/L, el porcentaje de sólidos se asume un 12% que está dentro del rango mencionado por OPS/CEPIS de 8 a 12%. Se calcula con la ecuación 70.

$$V_{DL} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodo} \left( \frac{\% \text{sólidos}}{100} \right)}$$

$$V_{DL} = \frac{75,79 \text{ Kg}_{ss}/\text{día}}{1,04 \text{ Kg/L} \left( \frac{12}{100} \right)}$$

$$V_{DL} = 607,29 \text{ kg/L}$$

- **Cálculo del volumen de lodos a extraerse del tanque**

El tiempo de digestión o el tiempo para la deshidratación de los lodos son de 36 días a la temperatura de 23°C, según la Tabla 17-1.

Dato:

$t_{DE}$  = tiempo de digestión: 36 días – Tabla 17-1

$$V_{LE} = \frac{V_{LD} * t_{DE}}{1000}$$

$$V_{LE} = \frac{607,29 \text{ kg/L} * 36 \text{ días}}{1000}$$

$$V_{LE} = 21,85 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área del lecho de secado**

Aplicando la ecuación 72.

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_d}$$

Dato:

$H_d$  = profundidad de lodo que va a depositarse en el lecho de secado: 0,40 m según OPS/CEPIS/05.163

$$A_{LS} = \frac{21,85 \text{ m}^3}{0,40 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 54,62 \text{ m}^2$$

- **Longitud del lecho de secado**

Con la ecuación 73.

Dato:

$b_{LS}$  = ancho del lecho de secado: 5 m según OPS/CEPIS/05.163.

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{b_{LS}}$$

$$L_{LS} = \frac{54,62 \text{ m}^2}{5 \text{ m}}$$

$$L_{LS} = 10,92 \text{ m}$$



- **Volumen del lecho destinado a la descarga de lodos**

Con la ecuación 74.

$$V_{TL} = L_{LS} * b_{LS} * H_d$$

$$V_{TL} = 10,92 \text{ m} * 3 \text{ m} * 0,40 \text{ m}$$

$$V_{TL} = 13,10 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del intervalo de tiempo para desalojar el lodo**

Utilizando la ecuación 75.

$$T_{DL} = \frac{V_{TL}}{Q_p}$$

$$T_{DL} = \frac{13,10 \text{ m}^3}{324 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_{DL} = 0,04 \text{ h}$$

### 3.3.5 *Diseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)*

Para el diseño del FAFA se tomaron los criterios de diseño de la Tabla 17-1.

Conjuntamente existe una pérdida del 30% del caudal debido a la cantidad de lodos hidratados que se generan en el tanque mezclador. El caudal a la salida del tanque mezclador es de 235,64 m<sup>3</sup>/h.

- **Cálculo del volumen del filtro**

Se considera 4 unidades de filtración. A cada unidad de filtración ingresa un caudal de 58,91 m<sup>3</sup>/h.

Se aplica la ecuación 76 y la tabla 18-1.

$$V_f = Q * T_r$$

Datos:

$T_r = 6 \text{ h}$  - Tabla 18-1

$Q = 58,91 \text{ m}^3/\text{h}$

$$V_f = 58,91 \text{ m}^3/\text{h} * 6 \text{ h}$$

$$V_f = 353,46 \text{ m}^3$$

- **Cálculo del área horizontal del filtro**

Se utiliza la ecuación 77.

Dato:

$H_u$  = profundidad útil del filtro: 4 m – Tabla 18-1

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

$$A_f = \frac{353,46 \text{ m}^3}{4 \text{ m}}$$

$$A_f = 88,35 \text{ m}^2 \text{ (Para cada unidad)}$$

- **Cálculo de la longitud del filtro**

Se utiliza la ecuación 78.

Dato:

b = ancho del filtro: 5,40 m - Tabla 18-1

$$L = \frac{A_f}{b}$$

$$L = \frac{88,35 \text{ m}^2}{5,40 \text{ m}}$$

$$L = 16,36 \text{ m} \approx 16 \text{ m} \text{ (Por fines de construcción para cada unidad)}$$

- **Cálculo de la altura total de la cámara**

Se utiliza la ecuación 79.

$$H_{Tf} = H_u + 0,30$$

$$H_{Tf} = 4 \text{ m} + 0,30$$

$$H_{Tf} = 4,30 \text{ m}$$

### 3.3.6 *Diseño del tanque de desinfección*

- **Cálculo del volumen del tanque de cloración**

Se utiliza la ecuación 80.

$$V_{Cl} = Q * T_r$$

Datos:

Q= caudal:  $235,64 \text{ m}^3/\text{h} \approx 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$

$T_r$  = tiempo de retención: 1800s Tiempo en el que reacciona el cloro - Sugerido por la Dirección Técnica de la EP-EMAPAG.

$$V_{Cl} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s} * 1800 \text{ s}$$

$$V_{Cl} = 108 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la altura del tanque**

Para el diseño de la altura se utilizará el parámetro de diseño establecido por Muñoz Balarezo, demanda de cloro para aguas en 1992, y la ecuación 81:

$$\text{Área} = 9 * 5 = 45 \text{ m}^2$$

$$H_{\text{tanque}} = \frac{V_{Cl}}{A}$$

$$H_{\text{tanque}} = \frac{108 \text{ m}^3}{45 \text{ m}^2}$$

$$H_{\text{tanque}} = 2,40 \text{ m}$$

### 3.3.6.1 Dosificación del desinfectante

- **Cálculo para la dosificación de Hipoclorito de calcio (HTH) para la preparación de la solución madre**

Se utiliza la ecuación 82.

$$D_{HTH} = 0,012 * Q * C$$

Datos:

Q= caudal:  $0,06 \text{ m}^3/\text{s} \approx 951,12 \text{ (gal/min)}$

C = concentración HTH: 4 mg/L – Requerimiento de EP-EMAPAG

$$D_{HTH} = 0,012 * 951,12 * 4$$

$$D_{HTH} = 45,65 \text{ lb/día}$$

- **Cálculo del volumen de agua para diluir el Hipoclorito de calcio (HTH) para la preparación de la solución madre**

Se utiliza la ecuación 83.

$$V_{AHTH} = \frac{m_{HTH}}{\rho_{HTH}}$$

Dónde:

$V_{AHTH}$ = volumen de agua para diluir HTH (L)

$m_{HTH}$ = masa de HTH: 45,65 lb  $\approx$  20706,49 g

$\rho_{HTH}$ = densidad de HTH: 800 g/L – Ficha técnica HTH

$$V_{AHTH} = \frac{20706,49 \text{ g}}{800 \text{ g/L}}$$

$$V_{AHTH} = 25,88 \text{ L}$$

- **Cálculo del volumen de la solución madre**

Se utiliza la ecuación 84.

$$V_{SM} = \frac{V_{AHTH} * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_{SM} = \frac{25,88 \text{ L} * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_{SM} = 197,92 \text{ L}$$

Se asume que  $V_{SM}$  es el volumen de la solución por día. La solución por goteo se calcula mediante la siguiente conversión:

$$Goteo = 197,92 \frac{\text{L}}{\text{día}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Goteo = 137,45 \text{ mL/min}$$

### 3.4 Resultados del dimensionamiento

#### 3.4.1 Proyección futura

**Tabla 30 – 3:** Resultado de la proyección futura

<b>POBLACIÓN PROYECTADA</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Población actual 2015	6500	Habitantes
Período de diseño	15	Años
Índice de crecimiento anual	1	%
Población futura 2030	7546	Habitantes

Fuente: INEN 2010

Realizado por: Alexis Lema, 2015

#### 3.4.2 Caudales para el diseño del sistema de tratamiento

**Tabla 31 – 3:** Resultados de los caudales para el diseño del sistema de tratamiento

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Dotación de agua consumida	$D_c$	L/hab·día	356.89
Caudal servido	$Q_s$	m <sup>3</sup> /día	2693.09
Caudal medio diario	$Q_{md}$	m <sup>3</sup> /día	1615.85
Caudal de diseño	$Q_d$	m <sup>3</sup> /h	67.33
Caudal mínimo diario	$Q_{mín}$	m <sup>3</sup> /h	20.20
Caudal punta	$Q_p$	m <sup>3</sup> /h	324

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.3 Dimensionamiento de las rejillas

**Tabla 32 – 3:** Resultados del dimensionamiento de las rejillas

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal	$Q_p$	$m^3/s$	0,09
Velocidad	$v$	$m/s$	0,56
Área libre al paso del agua	$A_L$	$m^2$	0,16
Altura del tirante en el canal	$h_a$	$m$	0,32
Ancho del canal	$b$	$m$	0,50
Longitud de las barras	$L_b$	$m$	0,41
Número de barras	$N_b$	unidades	15
Separación entre barras	$e$	$m$	0,02
Espesor de las barras	$S$	$m$	$1,27 \cdot 10^{-2}$
Ángulo de inclinación de las barras	$\alpha$	$^\circ$	50
Pérdida de Carga	$h$	$m$	0,016

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.4 Dimensionamiento del desarenador

**Tabla 33 – 3:** Resultados del dimensionamiento del desarenador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de sedimentación	$V_s$	$cm/s$	0,89
Número de Reynolds	$N_{Re}$	adimensional	0,88
Tiempo de Retención	$t$	$s$	224,72
Periodo de Retención	$a$	$min$	10,30
Profundidad de sedimentación	$H$	$cm$	200
Capacidad del Desarenador	$C$	$m^3$	55,62
Superficie del desarenador	$A_s$	$m^2$	27,81
Ancho del desarenador	$B$	$m$	4
Longitud del desarenador	$L$	$m$	8
Área Total del Desarenador	$A_T$	$m^2$	32
Volumen del Desarenador	$V$	$m^3$	64
Carga hidráulica	$q$	$m^3/m^2/día$	279,71
Caudal por línea del desarenador	$Q_o$	$m^3/s$	0,045
Velocidad horizontal	$V_h$	$m/s$	$1,61 \cdot 10^{-3}$
Tirante sobre el vertedero de salida	$h_v$	$m$	0,03

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.5 Dimensionamiento del canal Parshall

**Tabla 34 – 3:** Resultados del dimensionamiento del canal Parshall

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho de la garganta	W	m	1,83
Altura de Diseño	H <sub>O</sub>	m	0,086
Ancho de agua en la sección de medición	D'	m	2,39
Velocidad en la sección de medición	V <sub>O</sub>	m/s	0,44
Carga hidráulica disponible	E <sub>O</sub>	m	0,33
Caudal específico en la garganta de la canaleta	Q <sub>W</sub>	m <sup>3</sup> / m·s	0,049
Ángulo de inclinación	θ <sub>p</sub>	°	105
Velocidad antes del resalto	v <sub>1</sub>	m/s	1,75
Altura del agua antes del resalto	h <sub>1</sub>	m	0,028
Altura del agua después resalto	h <sub>2</sub>	m	0,26
Velocidad de resalto	v <sub>2</sub>	m/s	0,19
Altura en la sección de salida del canal	h <sub>3</sub>	m	0,11
Velocidad en la sección de la salida	v <sub>3</sub>	m/s	0,38
Perdida de carga en el resalto	h <sub>R</sub>	m	0,27
Tiempo de mezcla en el resalto	T	s	3,2
Gradiente de velocidad	G	s <sup>-1</sup>	865,88

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.6 Dosificación de productos químicos

**Tabla 35 – 3:** Resultados de la dosificación de productos químicos

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Concentración de PAC – P25A	Conc <sub>PAC</sub>	g/L	0,05
Dosis de PAC – P25A	D <sub>PAC</sub>	L/día	3337,2
Cantidad de PAC – P25A	C <sub>PAC</sub>	g/día	166,86
Concentración de Chemfloc N-100	Conc <sub>N-100</sub>	g/L	0,8
Dosis de Chemfloc N-100	D <sub>N-100</sub>	L/día	3893,4
Cantidad de Chemfloc N-100	C <sub>N-100</sub>	g/día	3114,72
Concentración de Sulfato de aluminio	Conc <sub>Sulf</sub>	g/L	0,05
Dosis de Sulfato de aluminio	D <sub>Sulf</sub>	L/día	3337,2
Cantidad de Sulfato de aluminio	C <sub>Sulf</sub>	g/día	166,86
Concentración de Cal	Conc <sub>Cal</sub>	g/L	0,05
Dosis de Cal	D <sub>Cal</sub>	L/día	1112,4
Cantidad de Cal	C <sub>Cal</sub>	g/día	55,62

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.7 Dimensionamiento del Tanque mezclador rápido de turbina

**Tabla 36 – 3:** Resultados del dimensionamiento del tanque mezclador rápido de turbina

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque mezclador	$V_{TM}$	$m^3$	55,62
Tiempo de retención	$T_{rh}$	s	7
Diámetro de la cámara de mezcla	DT	m	3,93
Profundidad de la cámara de mezcla	H	m	4,50
Diámetro de la turina	D	m	1,30
Ancho de los deflectores	Wd	m	0,13
Dimensiones de las paletas	B,W	m	0,32
Potencia aplicada al agua residual	P	watt	61293,24
Velocidad de rotación	N	rpm	82,80
Espesor de las paletas	Q	m	0,26
Diametro del disco central	S	m	0,98
Altura del impulsor respecto al fondo del tanque	H	m	1,30

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.8 Dimensionamiento del lecho de secado

**Tabla 37 – 3:** Resultados del dimensionamiento del lecho de secado

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área	$A_{LS}$	$m^2$	54,62
Longitud	$L_{LS}$	m	10,92
Volumen del lecho	$V_{TL}$	$m^3$	13,10
Profundidad	$H_d$	m	0,40
Ancho	$b_{LS}$	m	5
Tiempo desalojo de lodos	$T_{DL}$	h	0,40

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.9 Dimensionamiento del Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)

**Tabla 38 – 3:** Resultados del dimensionamiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del filtro	$V_f$	$m^3$	353,46
Tiempo de retención	$T_r$	h	6
Area horizontal del filtro	$A_f$	$m^2$	88,35
Longitud del filtro	L	m	16
Altura total de la camara	$H_{Tr}$	m	4,30
Profundidad útil del filtro	$H_u$	m	4
Ancho del filtro	b	m	5,40

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.4.10 Dimensionamiento del Tanque de desinfección

**Tabla 39 – 3:** Resultados del dimensionamiento del tanque de desinfección

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque de cloración	$V_{Cl}$	$m^3$	108
Tiempo de retención	$T_r$	s	1800
Area del tanque de cloración	A	$m^2$	45
Altura del tanque	$H_{tanque}$	m	2,40

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

#### 3.4.11 Dosificación del desinfectante

**Tabla 40 – 3:** Resultados de la dosificación del desinfectante hipoclorito de calcio (HTH)

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Concentración del Hipoclorito de Calcio	C	mg/L	4
Dosificación HTH	D <sub>HTH</sub>	Kg/día	20,75
Volumen de la solución madre	V <sub>SM</sub>	L	197,92
Dosificación por goteo (por día de tratamiento)	Goteo	mL/min	137,45

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

### 3.5 Resultados de la caracterización Físico-Químico y microbiológico del agua tratada

Los análisis se realizó en el laboratorio de control de calidad de la E. P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Guaranda, efectuandose el monitoreo el mes de agosto para establecer los párametros que se encuentran fuera de los limites permisibles que estan establecidos en la norma TULSMA, Tabla 12, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, considerandose a la vez dos muestras compuestas para realizar las pruebas de tratabilidad.



**Tabla 41 – 3:** Caracterización físico – químico y microbiológico de muestra compuesta del agua residual de la descarga al cuerpo receptor.

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	Agua Residual	Agua Tratada
		Lim.Max.Per	07-ago	
COLOR	UTC	Ina. en dis	250.00	1.00
TURBIEDAD	NTU	.....	102.63	0.52
pH	.....	.....	7.70	7.09
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	260.64	94.63
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	120.05	41.06
TEMPERATURA	° C	.....	18.94	17.85
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	25.07	2.41
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	5.93	0.19
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	3.12	0.02
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	6.00	1.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	5.86	0.75
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	7.15	0.68
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.754	0.009
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.5	0.25	0.01
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.48	0.02
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	300.00	160.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.005	0.007
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	430.67	3.48
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.40	0.25
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.36	0.32
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.35	0.19
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.006	0.008
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.42	0.74
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.009	0.009
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.006
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.37	0.12
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	2.00	7.00
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	9626	25
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	250	4639	7
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	580	< 1**
COLIFORMES FECALIS	NMP/100 mL	Rem. al 99%	246	< 1**

Fuente: DIRECCIÓN TÉCNICA – LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD E.P – EMAPA-G

**Tabla 42 – 3:** Caracterización físico – químico y microbiológico de muestra compuesta del agua residual de la descarga al cuerpo receptor

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	Muestras compuestas	
		Lim.Max.Per	21-ago	21-ago
COLOR	UTC	Ina. en dis	186.00	1.00
TURBIEDAD	NTU	.....	87.49	0.44
pH	.....	.....	7.50	7.07
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	170.52	91.28
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	150.78	39.69
TEMPERATURA	° C	.....	18.84	17.93
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	22.00	1.95
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	6.48	0.23
NITROGENO AMONICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	3.67	0.02
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	9.00	1.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	6.71	0.88
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	6.83	0.86
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.869	0.008
CROMO (Cr <sup>+6</sup> )	mg/L	0.5	0.21	0.01
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.46	0.02
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	312.00	120.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.007	0.008
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	410.380	2.450
NIQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.35	0.19
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.48	0.27
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.50	0.14
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.007	0.007
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.008	0.006
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.64	0.20
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.008	0.009
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.25	0.16
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	2.00	6.53
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	8943	28
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	mg/L	250	3781	5
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	620	< 1**
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	294	< 1**

Fuente: DIRECCIÓN TÉCNICA – LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD E.P – EMAPA-G

Para las respectivas tabulaciones se tomó el valor promedio de los resultados de las muestras compuestas luego de la prueba de jarras, para poder verificar la remoción de los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles.

### **3.6 Resultado de la Prueba de Jarras**

Consistió en realizar el test de jarras con la dosificación de polímeros para clarificar el agua, al mismo tiempo se realizó ensayos de los procesos que se dimensiono a nivel de laboratorio, posteriormente una vez realizados estos ensayos se procedió a caracterizar el agua tratada para poder determinar si los parámetros que inicialmente se encontraban fuera de los límites permisibles de la norma TULSMA, Tabla 12, se encuentren dentro de los límites, para poder ser descargada el agua tratada un cuerpo receptor (Rio Suquibi).

A continuación se muestran los resultados de la caracterización de la prueba de Jarras:

**Tabla 43 – 3: Prueba de jarras muestra compuesta turbiedad de 87.49 NTU**

TURBIEDAD 87.49 NTU, (pHo=7.50, pHf=7.03), rpm=100, tiempo de agitación= 30 min											
Conc Aux (g/L)	Conc PAC (g/L)	Conc Cal (g/L)	Conc Sulf (g/L)	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Dosis Cal (mL)	Dosis Sulfa (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.80	0.02	0.02	0.02	60.00	70.00	35.00	60.00	21.44	11.79	8.57	90.20
0.80	0.02	0.02	0.02	120.00	140.00	70.00	120.00	20.16	11.29	8.40	90.40
0.80	0.02	0.02	0.02	180.00	210.00	105.00	180.00	18.92	10.78	8.22	90.60
0.80	0.02	0.02	0.02	240.00	280.00	140.00	240.00	17.71	10.27	8.05	90.80
0.80	0.03	0.03	0.03	60.00	70.00	35.00	60.00	12.49	7.37	3.67	95.80
0.80	0.03	0.03	0.03	120.00	140.00	70.00	120.00	12.60	7.56	3.50	96.00
0.80	0.03	0.03	0.03	180.00	210.00	105.00	180.00	12.63	7.71	3.32	96.20
0.80	0.03	0.03	0.03	240.00	280.00	140.00	240.00	12.60	7.81	3.15	96.40
0.80	0.04	0.04	0.04	60.00	70.00	35.00	60.00	10.94	3.83	0.44	99.50
0.80	0.04	0.04	0.04	120.00	140.00	70.00	120.00	12.25	4.53	1.22	98.60
0.80	0.04	0.04	0.04	180.00	210.00	105.00	180.00	16.80	6.55	1.40	98.40
0.80	0.04	0.04	0.04	240.00	280.00	140.00	240.00	22.05	9.04	1.57	98.20
0.80	0.05	0.05	0.05	60.00	70.00	35.00	60.00	28.00	10.08	1.75	98.00
0.80	0.05	0.05	0.05	120.00	140.00	70.00	120.00	25.02	9.51	1.92	97.80
0.80	0.05	0.05	0.05	180.00	210.00	105.00	180.00	28.35	11.34	2.10	97.60
0.80	0.05	0.05	0.05	240.00	280.00	140.00	240.00	28.78	12.09	2.27	97.40

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

**Tabla 44 – 3:** Prueba de jarras muestra compuesta turbiedad de 102.63 NTU

TURBIEDAD 102.63 NTU, (pH <sub>o</sub> =7.70, pH <sub>f</sub> =7.05), rpm=100, tiempo de agitación= 30 min											
Conc Aux (g/L)	Conc PAC (g/L)	Conc Cal (g/L)	Conc Sulf (g/L)	Dosis PAC (mL)	Dosis Aux (mL)	Dosis Cal (mL)	Dosis Sulfa (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0.80	0.02	0.02	0.02	60.00	70.00	20.00	60.00	9.03	2.26	4.52	95.60
0.80	0.02	0.02	0.02	80.00	90.00	40.00	80.00	9.05	2.35	4.31	95.80
0.80	0.02	0.02	0.02	100.00	110.00	60.00	100.00	9.03	2.44	4.11	96.00
0.80	0.02	0.02	0.02	120.00	130.00	80.00	120.00	8.97	2.51	3.90	96.20
0.80	0.03	0.03	0.03	60.00	70.00	20.00	60.00	8.87	2.57	3.69	96.40
0.80	0.03	0.03	0.03	80.00	90.00	40.00	80.00	8.72	2.62	3.49	96.60
0.80	0.03	0.03	0.03	100.00	110.00	60.00	100.00	8.54	2.65	3.28	96.80
0.80	0.03	0.03	0.03	120.00	130.00	80.00	120.00	8.31	2.66	3.08	97.00
0.80	0.04	0.04	0.04	60.00	70.00	20.00	60.00	8.05	2.66	2.87	97.20
0.80	0.04	0.04	0.04	80.00	90.00	40.00	80.00	7.74	2.63	2.67	97.40
0.80	0.04	0.04	0.04	100.00	110.00	60.00	100.00	7.39	2.59	2.46	97.60
0.8	0.04	0.04	0.04	120.00	130.00	80.00	120.00	7.00	2.52	2.26	97.80
0.80	0.05	0.05	0.05	60.00	70.00	20.00	60.00	20.94	1.88	0.52	99.49
0.8	0.05	0.05	0.05	80.00	90.00	40.00	80.00	25.35	4.31	0.63	99.39
0.8	0.05	0.05	0.05	100.00	110.00	60.00	100.00	29.88	5.68	0.73	99.29
0.8	0.05	0.05	0.05	120.00	130.00	80.00	120.00	29.93	6.28	0.83	99.19

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

### 3.7 Propuesta

La propuesta que se realiza a continuación para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Luis de Pambil se basa tanto en los resultados obtenidos de la descarga del agua residual hacia el cuerpo receptor (Río Suquibí), así como de los resultados del agua tratada.



### 3.8 Presupuesto general del sistema de tratamiento

**Tabla 45 – 3: Costos para la implementación del sistema de tratamiento de agua residual**

<b>Rubro / Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio global</b>
<b>SISTEMA GENERAL</b>				
<b>CANAL PARSHALL</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	13,82	0,90	12,44
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	13,82	3,99	55,13
Excavación manual	m <sup>3</sup>	15,20	8,10	123,12
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	0,72	90,11	64,70
Hormigón simple F <sup>o</sup> C =210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,18	175,13	206,42
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	4,51	9,25	41,74
Encofrado con madera	m <sup>2</sup>	9,02	7,55	68,13
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	23,57	5,68	133,89
<b>REJILLAS</b>				0,00
Rejillas metálicas	U	14,00	8,10	113,40
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	0,50	0,90	0,45
<b>DESARENADOR</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	67,60	0,90	60,84
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	67,60	3,99	269,72
Excavación manual	m <sup>3</sup>	81,12	8,10	657,07
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	3,38	90,11	304,57
Hormigón simple F <sup>o</sup> C=210 Kg/CM <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	16,27	175,13	2.849
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	67,60	9,25	625,30
Encofrado con madera	m <sup>2</sup>	56,88	7,55	429,44
Malla electro soldada 10X10X6mm	m <sup>2</sup>	56,88	5,68	323,08
<b>TANQUE MEZCLADOR</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	12,50	0,90	11,25
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	12,50	3,99	49,88
Excavación manual	m <sup>3</sup>	7,50	8,10	60,75
Replanto H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	2,36	90,11	212,66
Hormigón simple F <sup>o</sup> C=210 Kg/CM <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2,75	175,13	481,61
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	30,00	9,25	277,50
Encofrado con madera	m <sup>2</sup>	30,00	7,55	226,50
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	14,90	5,68	84,63
<b>TANQUE DE DESINFECCION</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	47,84	0,90	43,06

Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	47,84	3,99	190,88
Excavación manual	m <sup>3</sup>	71,76	8,10	581,26
Replantillo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	2,39	90,11	215,54
Hormigón simple F' C=210 Kg/CM <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	11,41	175,13	1.998,58
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	68,16	9,25	630,48
Encofrado con madera	m <sup>2</sup>	137,20	7,55	1.035,86
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	114,12	5,68	648,20
<b>FAFA</b>				
Limpieza y desbroce	m <sup>2</sup>	349,92	0,90	314,93
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	349,92	3,99	1.396,18
Excavación manual	m <sup>3</sup>	267,04	8,10	2.163,02
Replantillo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	39,50	90,11	3.559,35
Hormigón simple F' C=210 Kg/CM <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	101,95	175,13	17.854,50
Enlucido vertical con impermeabilizante	m <sup>2</sup>	438,60	9,25	4.057,05
Encofrado con madera	m <sup>2</sup>	907,20	7,55	6.849,36
Malla electro soldada 10x10x6mm	m <sup>2</sup>	810,03	5,68	4.600,97
			<b>TOTAL (\$):</b>	<b>53.063,84</b>

Realizado por: Alexis Lema, 2015

**Tabla 46 – 3: Costos de los productos químicos para el tratamiento del agua residual**

<b>PRODUCTOS QUÍMICOS</b>	<b>Dosificación (Kg/día)</b>	<b>Costo Unitario (kg)</b>	<b>Costo Diario (\$)</b>	<b>Costo Mensual (\$)</b>
Policloruro de Aluminio (PAC - P25A)	0,16	\$ 0,90	0,14	4,2
Auxiliar de coagulación (Chemfloc N-100)	3,11	\$ 8,00	24,91	747,53
Sulfato de aluminio	0,16	\$ 2,00	0,32	9,6
Cal T-30	0,05	\$ 0,50	0,025	0,75
Hipoclorito de calcio (HTH)	20,75	\$ 3,00	62,25	1867,5
<b>TOTAL (\$):</b>			<b>87,64</b>	<b>2629,58</b>

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.9 Eficacia del sistema de tratamiento en la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos suspendidos.

El procedimiento HPE/OPS/CEPIS, establece la eficiencia que debe tener cada proceso diseñado para remover contaminantes que se encuentran contenidos en el agua residual, tomandose los



contaminantes mas relevantes como el DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos suspendidos, considerando el valor promedio de las muestras compuesta para realizar este cálculo de los procesos dimensionados.

### **3.9.1 Tanque mezclador rápido**

La OPS establece para un mezclador rápido de turbina una variación de eficiencia en un rango de 45 a 60 % para DBO<sub>5</sub> y DQO, en relación a los sólidos suspendidos totales entre 60 a 80 %, considerandose 58 % para para DBO<sub>5</sub> y DQO, un 78 % para sólidos suspendidos.

#### **3.9.1.1 Remoción de DBO<sub>5</sub>**

$$\begin{aligned} \text{DBO}_5 \text{ removida} &= \text{DBO}_5 - (\text{DBO}_5 * \% \text{ de remoción}) \\ \text{DBO}_5 \text{ removida} &= 9626 \text{ mg/L} - (9626 \text{ mg/L} * 0.58) \\ \text{DBO}_5 \text{ removida} &= 4042.92 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

#### **3.9.1.2 Remoción de DQO**

$$\begin{aligned} \text{DQO} \text{ removida} &= \text{DQO} - (\text{DQO} * \% \text{ de remoción}) \\ \text{DQO} \text{ removida} &= 4210 \text{ mg/L} - (4210 \text{ mg/L} * 0.58) \\ \text{DQO} \text{ removida} &= 1768.20 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

#### **3.9.1.3 Remoción de SST**

$$\begin{aligned} \text{SST} \text{ removidos} &= \text{SST} - (\text{SST} * \% \text{ de remoción}) \\ \text{SST} \text{ removidos} &= 135.41 \text{ mg/L} - (135.41 \text{ mg/L} * 0.78) \\ \text{SST} \text{ removidos} &= 29.79 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

### **3.9.2 Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente**

Según la bibliografía revisada para los filtros anaeróbicos de flujo ascendente la eficiencia varia en un rango de 60 a 80 % para DBO<sub>5</sub> y DQO, en cuanto a los sólidos suspendidos totales esta entre 70 a 90 %, considerandose un 75 % para DBO<sub>5</sub> y DQO, un 85 % para los sólidos suspendidos.

#### **3.9.2.1 Remoción de DBO<sub>5</sub>**

$$\begin{aligned} \text{DBO}_5 \text{ removida} &= \text{DBO}_5 - (\text{DBO}_5 * \% \text{ de remoción}) \\ \text{DBO}_5 \text{ removida} &= 4042.92 \text{ mg/L} - (4042.92 \text{ mg/L} * 0.75) \end{aligned}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ removida} = 1010.71 \text{ mg/L}$$

### 3.9.2.2 Remoción de DQO

$$\begin{aligned}\text{DQO}_{\text{removida}} &= \text{DQO} - (\text{DQO} * \% \text{ de remoción}) \\ \text{DQO}_{\text{removida}} &= 1768.20 \text{ mg/L} - (1768.20 \text{ mg/L} * 0.75) \\ \text{DQO}_{\text{removida}} &= 442.05 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

### 3.9.2.3 Remoción de SST

$$\begin{aligned}\text{SST}_{\text{removidos}} &= \text{SST} - (\text{SST} * \% \text{ de remoción}) \\ \text{SST}_{\text{removidos}} &= 29.79 \text{ mg/L} - (29.79 \text{ mg/L} * 0.85) \\ \text{SST}_{\text{removidos}} &= 4.46 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

## 3.9.3 Tanque de desinfección

Según la bibliografía revisada se considera para el proceso de desinfección la eficiencia varia en un rango de 70 a 85 % para DBO<sub>5</sub> y DQO, considerandose un 83 % para DBO<sub>5</sub> y DQO.

### 3.9.3.1 Remoción de DBO<sub>5</sub>

$$\begin{aligned}\text{DBO}_5 \text{ removida} &= \text{DBO}_5 - (\text{DBO}_5 * \% \text{ de remoción}) \\ \text{DBO}_5 \text{ removida} &= 1010.71 \text{ mg/L} - (1010.71 \text{ mg/L} * 0.83) \\ \text{DBO}_5 \text{ removida} &= 171.82 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

### 3.9.3.2 Remoción de DQO

$$\begin{aligned}\text{DQO}_{\text{removida}} &= \text{DQO} - (\text{DQO} * \% \text{ de remoción}) \\ \text{DQO}_{\text{removida}} &= 442.05 \text{ mg/L} - (442.05 \text{ mg/L} * 0.83) \\ \text{DQO}_{\text{removida}} &= 75.14 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Con el dimensionamiento de estos procesos de tratamiento de agua residual se evidencia un alto porcentaje de disminucion de los coliformes fecales y totales disminuyendo en un 100 % la remoción teórica de estos patógenos, asi también existe una remoción aproximada del 97.43 % de la demanda bioquímica de oxígeno, un 98.76 % de la demanda química de oxígeno y un 99 % de los sólidos suspendidos totales.

Considerando que existe una disminucion considerable de la concentración de nitrógeno total y fluoruros entre un 92 y 97 % respectivamente.

### 3.10 Resultados de las Pruebas de Tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad consistió en realizar test de jarras con la dosificación de policloruro de aluminio, chemfloc, sulfato de aluminio y cal, al mismo tiempo se realizó ensayos de los procesos que se dimensionó a nivel de laboratorio, posteriormente una vez realizados estos ensayos se procedió a caracterizar el agua tratada para poder determinar la calidad del agua tratada, para poder ser descargada a un cuerpo receptor.

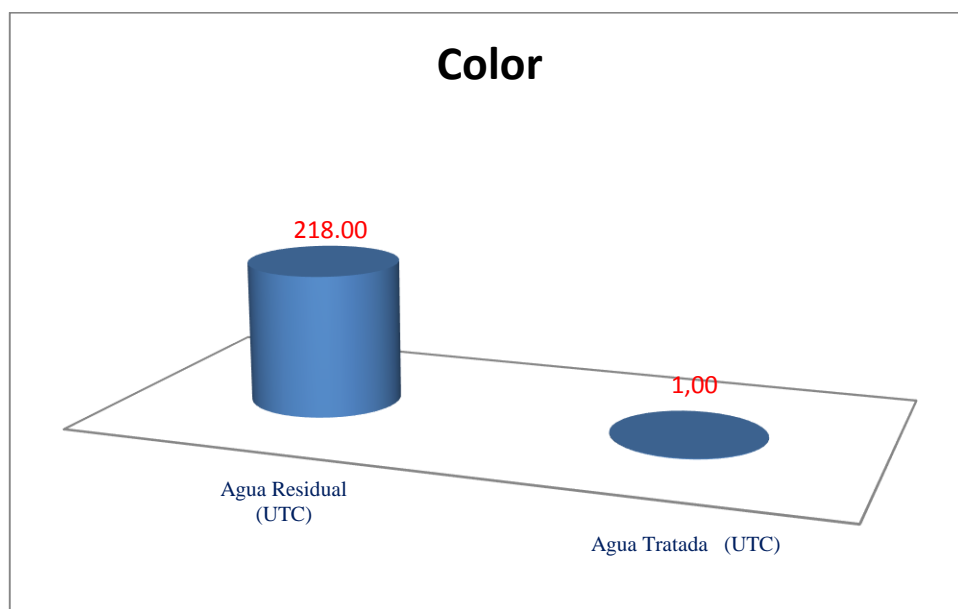
Los resultados del agua residual de las caracterizaciones físico – químico y microbiológico indicaron que los siguientes parámetros estaban fuera de la norma de calidad, así como también se indica los resultados luego de las pruebas de tratabilidad respectivas.

#### 3.10.1 Caracterización física del color

**Tabla 47 – 3:** Caracterización físico del color agua residual y tratada

Agua (UTC)		Límite Permisible (UTC)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
218.00	1.00	.....	100.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015.



**Gráfico 1 - 3:** Disminución concentración del color

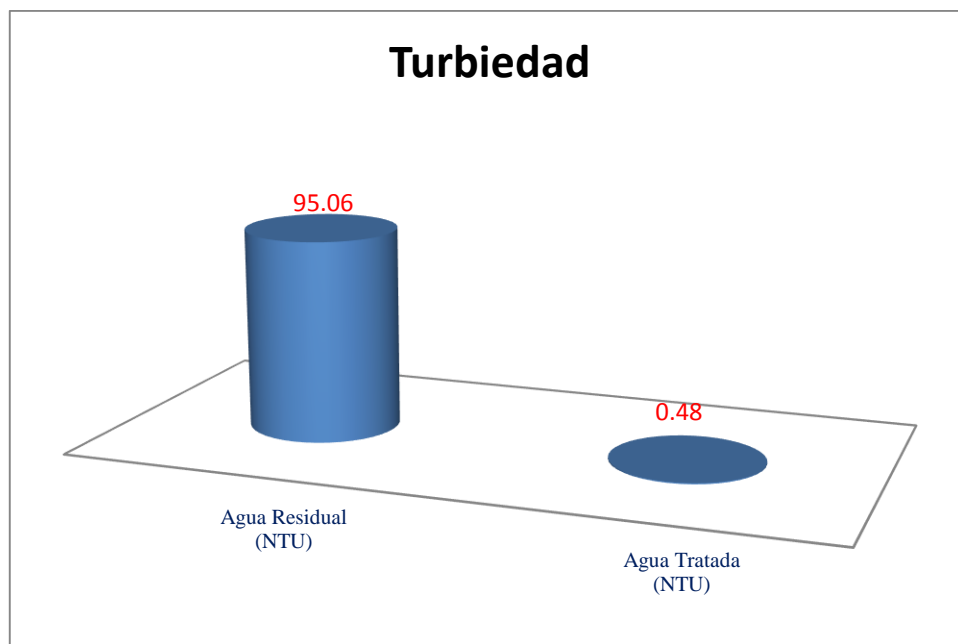
Realizado por: Alexis Lema, 2015.

### 3.10.2 Caracterización física de la turbiedad

**Tabla 48 – 3:** Caracterización físico de la turbiedad agua residual y tratada

Agua (NTU)		Límite Permisible (NTU)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
95.06	0.48	.....	97.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015.



**Gráfico 2 – 3:** Disminución de la turbiedad

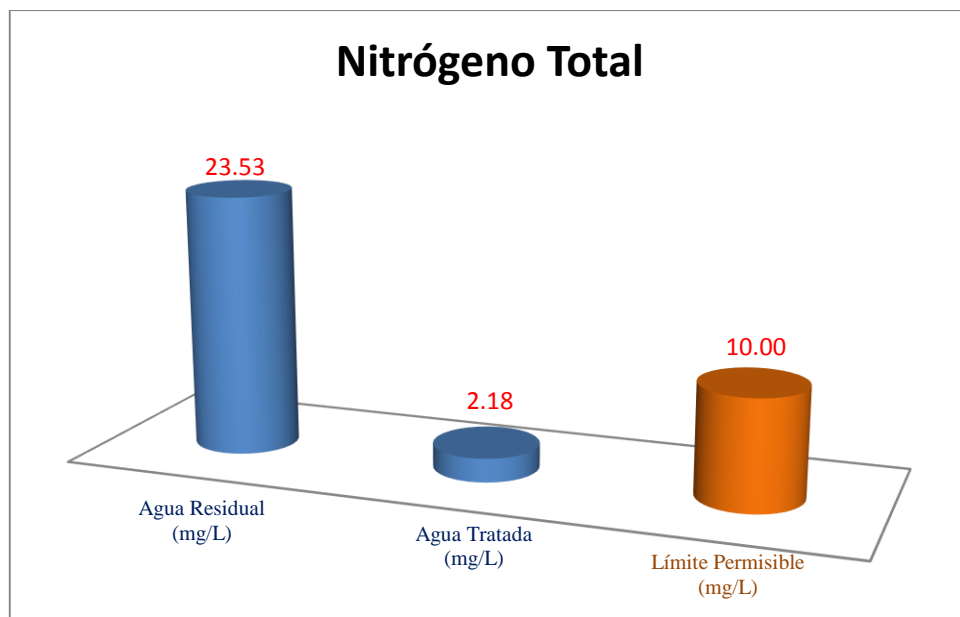
Realizado por: Alexis Lema, 2015.

### 3.10.3 Caracterización química del Nitrógeno total

**Tabla 49 – 3:** Caracterización química del Nitrógeno Total del agua residual y tratada

Agua (mg/L)		Límite Permisible (mg/L)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
23.53	2.18	10.00	92.64

Realizado por: Alexis Lema, 2015



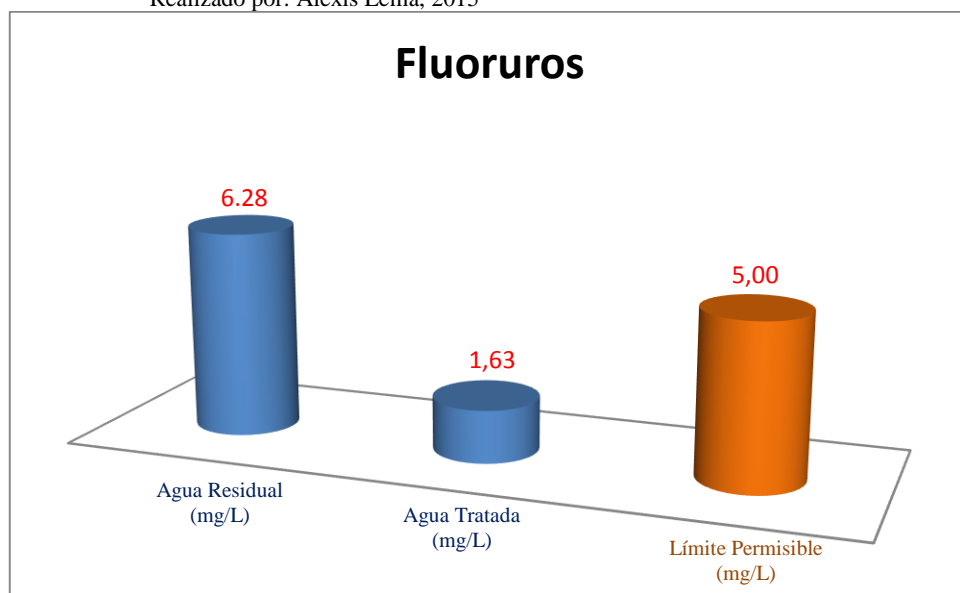
**Gráfico 3 – 3:** Disminución concentración de Nitrógeno Total  
Realizado por: Alexis Lema, 2015

#### 3.10.4 Caracterización química de los fluoruros

**Tabla 50 – 3:** Caracterización química de los fluoruros del agua residual y tratada

Agua (mg/L)		Límite Permisible (mg/L)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
6.28	1.63	5.00	93.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015



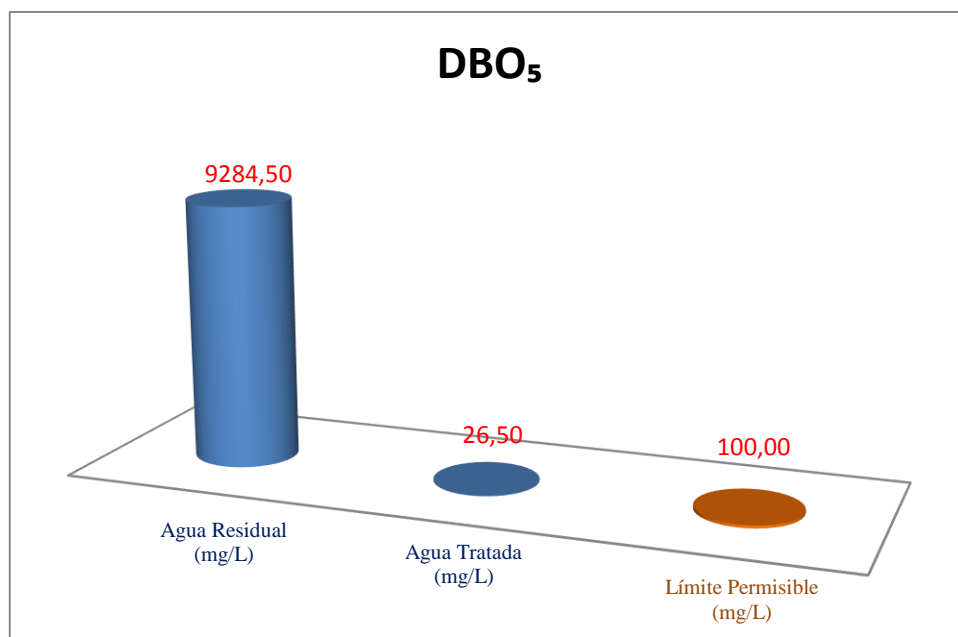
**Gráfico 4 – 3:** Disminución concentración de fluoruros  
Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.10.5 Caracterización química de la demanda bioquímica de oxígeno

**Tabla 51 – 3:** Caracterización química de la DBO<sub>5</sub> agua residual y tratada

Agua (mg/L)		Límite Permisible (mg/L)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
9284.5	26.50	100.00	99.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015



**Gráfico 5 – 3:** Disminución concentración de la DBO<sub>5</sub>

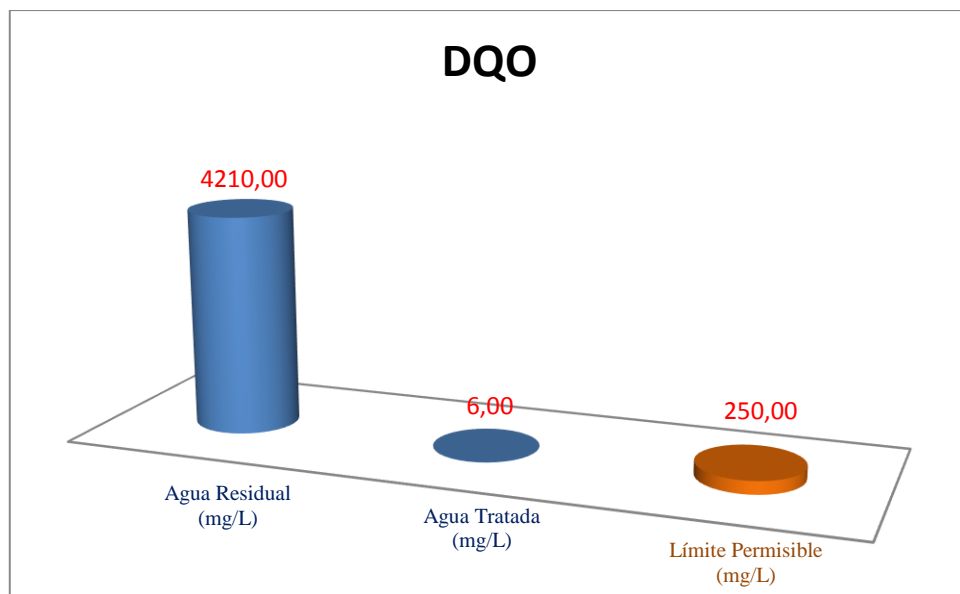
Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.10.6 Caracterización química de la demanda química de oxígeno

**Tabla 52 – 3:** Caracterización química de la DQO agua residual y tratada

Agua (mg/L)		Límite Permisible (mg/L)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
4210.00	6.00	250.00	99.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015



**Gráfico 6 – 3:** Disminución concentración de la DQO

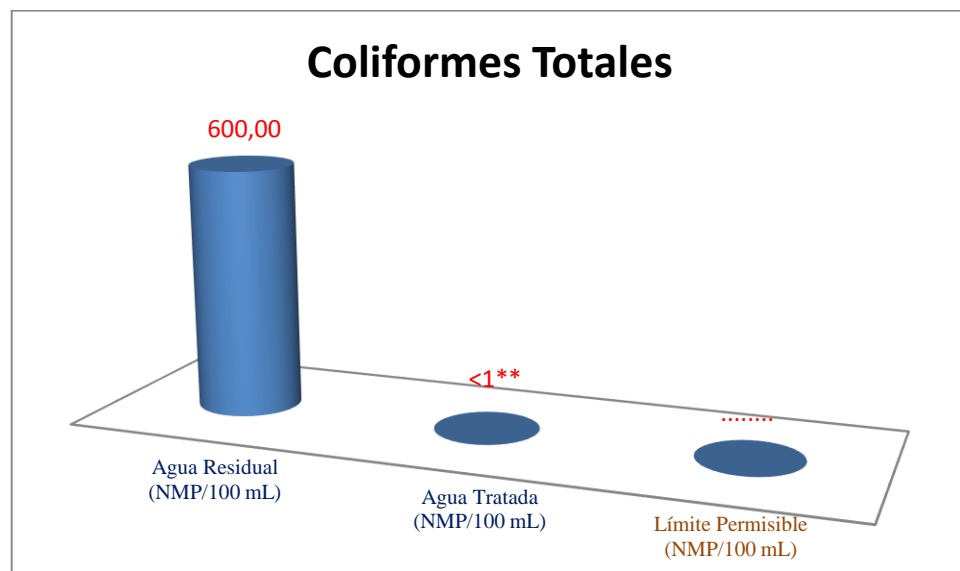
Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.10.7 Caracterización bacteriológica de coliformes totales

**Tabla 53 – 3:** Caracterización bacteriológica de coliformes totales agua residual y tratada

Agua (NMP/100 mL)		Límite Permisible (NMP/100 mL)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
600.00	< 1 **	.....	100.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015



**Gráfico 7 – 3:** Disminución coliformes totales

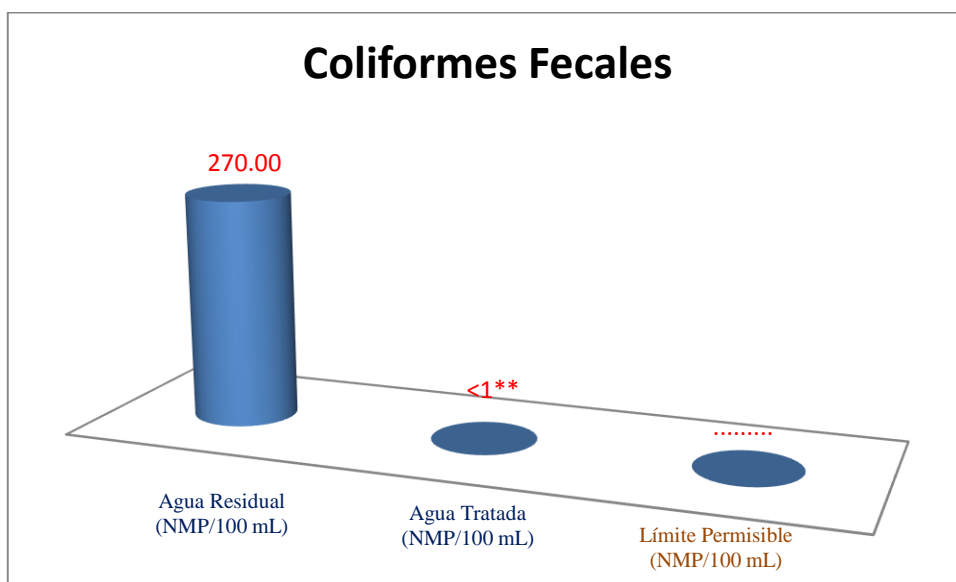
Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.10.8 Caracterización bacteriológica de coliformes fecales

**Tabla 54 – 3:** Caracterización bacteriológica de coliformes fecales agua residual y tratada

Agua (NMP/100 mL)		Límite Permisible (NMP/100 mL)	Remoción (%)
Residual	Tratada		
270.00	< 1**	.....	100.00

Realizado por: Alexis Lema, 2015



**Gráfico 8 – 3:** Disminución coliformes fecales

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### 3.11 Análisis y discusión de Resultados

La obtención de los resultados se basó considerando que la parroquia de San Luis de Pambil posee un clima tropical mega térmico húmedo y mega térmico lluvioso lo que no repercute en las estaciones del año, es decir, invierno y verano, no existiendo variaciones en las precipitaciones pluviales, pudiendo mencionarse que son constantes, el aforo del caudal del agua residual se realizó los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, especificado en las Tabla 21-2, Tabla 22-2 y Tabla 23-2, la toma de muestras de agua residual para su respectivo análisis se efectuó el mes de agosto.

Para realizar las tabulaciones de las caracterizaciones físico – químico y microbiológico del agua residual se consideró dos muestras compuestas, obteniendo un promedio de los resultados para



poder determinar la remoción de los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles de la norma TULSMA, Tabla 12.

Las pruebas de tratabilidad consistió en la realización de pruebas de jarras con la dosificación a diferentes concentraciones de policloruro de aluminio, chemfloc, sulfato de aluminio, cal e hipoclorito de calcio, que permitieron bajar las concentraciones de los parámetros que estaban fuera de los límites permisibles, a la vez se consideró parámetros que no se encuentra establecidos dentro de los límites permisibles pero que tienen relación con la estética del agua como el color y la turbiedad, así también la presencia de microorganismo por coliformes totales y oxígeno disuelto considerado como indicadores importantes en la calidad del agua.

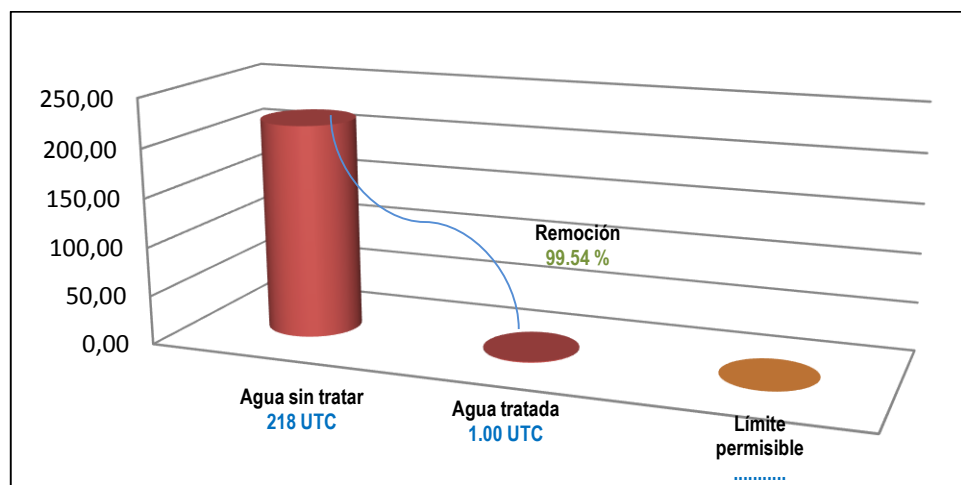
Para la muestra compuesta que presentaba una turbiedad de 87.49 NTU y un color de 186 UTC los parámetros que se encontraban fuera de la norma eran el nitrógeno total con una concentración 22 mg/L siendo su límite permisible 10 mg/L, fluoruros con una concentración de 6.71 mg/L siendo su límite permisible 5 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno con una concentración 8943 mg/L siendo su límite permisible 100 mg/L, demanda química de oxígeno con una concentración de 3781 mg/L siendo el límite permisible 250 mg/L, coliformes fecales 294 NMP/100mL en una remoción al 99 %, coliformes totales 620 NMP/100mL oxígeno disuelto 2 mg/L, como se indica en la Tabla 39 - 3. Para las pruebas de tratabilidad se utilizó concentraciones y dosificaciones de policloruro de aluminio al 0.04 g/L y 60 mL, chemfloc al 0.80 g/L y 70 mL, sulfato de aluminio al 0.04 g/L y 60 mL, cal al 0.04 g/L y 35 mL, como se indican en la Tabla 40-3. Posteriormente luego del test de jarras se simuló a nivel laboratorio los ensayos de tratamiento obteniéndose como resultado las concentraciones de nitrógeno total 1.95 mg/L, fluoruros de 0.88 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno 28 mg/L, demanda química de oxígeno de 5 mg/L, coliformes fecales <1\*\* NMP/100mL, coliformes totales <1\*\* NMP/100mL oxígeno disuelto 6.53 mg/L, turbiedad 0.44 NTU y color 1 UTC, obteniéndose una remoción del 99.50 %, como se indica en el gráfico 18-3.

Para la muestra compuesta que presentaba una turbiedad de 102.63 NTU y un color de 250 UTC los parámetros que se encontraban fuera de la norma eran el nitrógeno total con una concentración 25.07 mg/L siendo su límite permisible 10 mg/L, fluoruros con una concentración de 5.861 mg/L siendo su límite permisible 5 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno con una concentración 9626 mg/L siendo su límite permisible 100 mg/L, demanda química de oxígeno con una concentración de 4639 mg/L siendo el límite permisible 250 mg/L, coliformes fecales 246 NMP/100mL en una remoción al 99 %, coliformes totales 580 NMP/100mL oxígeno disuelto 2 mg/L, como se indican en la Tabla 38 - 3. Para las pruebas de trazabilidad se utilizó concentraciones y dosificaciones de

policloruro de aluminio al 0.05 g/L y 60 mL, chemfloc al 0.80 g/L y 70 mL, sulfato de aluminio al 0.05 g/L y 60 mL, cal al 0.05 g/L y 20 mL, como se indican en la Tabla 41 – 3. Posteriormente luego del test de jarras se simuló a nivel laboratorio los ensayos de tratamiento obteniéndose como resultado las concentraciones de nitrógeno total 2.41 mg/L, fluoruros de 0.75 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno 25 mg/L, demanda química de oxígeno de 7 mg/L, coliformes fecales <1\*\* NMP/100mL, coliformes totales <1\*\* NMP/100mL oxígeno disuelto 7 mg/L, turbiedad 52 NTU y color 1 UTC, obteniéndose una remoción del 99.49 %, como se indican en el gráfico 19-3.

Para tener una relación de la remoción de los parámetros que se encontraban fuera del límite permisible se basó en el promedio de los resultados de las muestras de agua residual, que se detallan a continuación:

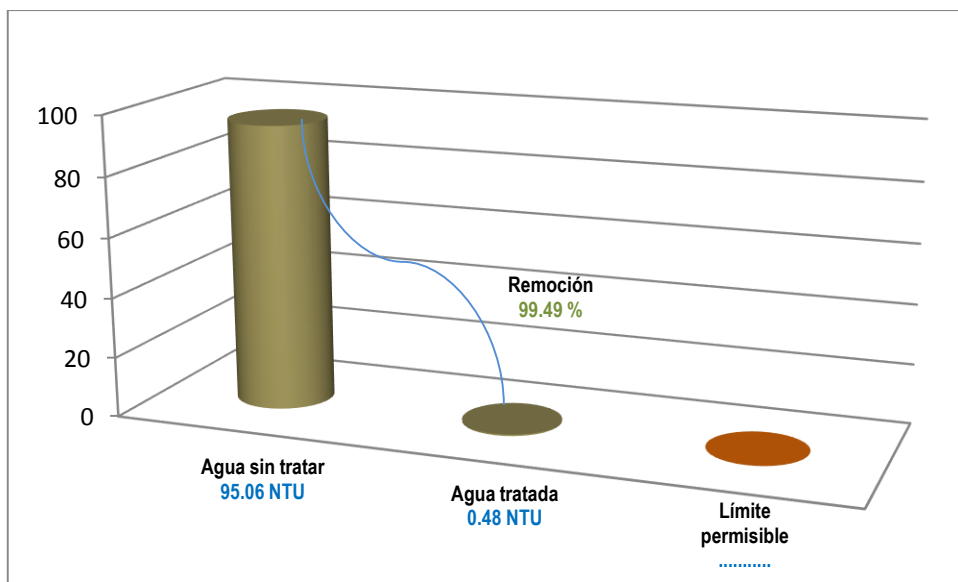
En el Gráfico 9 – 3 se puede observar que existe una recuperación del color aparente del agua residual en un 99.54 %, no se puede establecer comparación con un límite permisible, pero el color es un indicativo importante por tener que ver con la estética del agua.



**Gráfico 9 – 3:** Resultados de los análisis del color

Realizado por: Alexis Lema, 2015

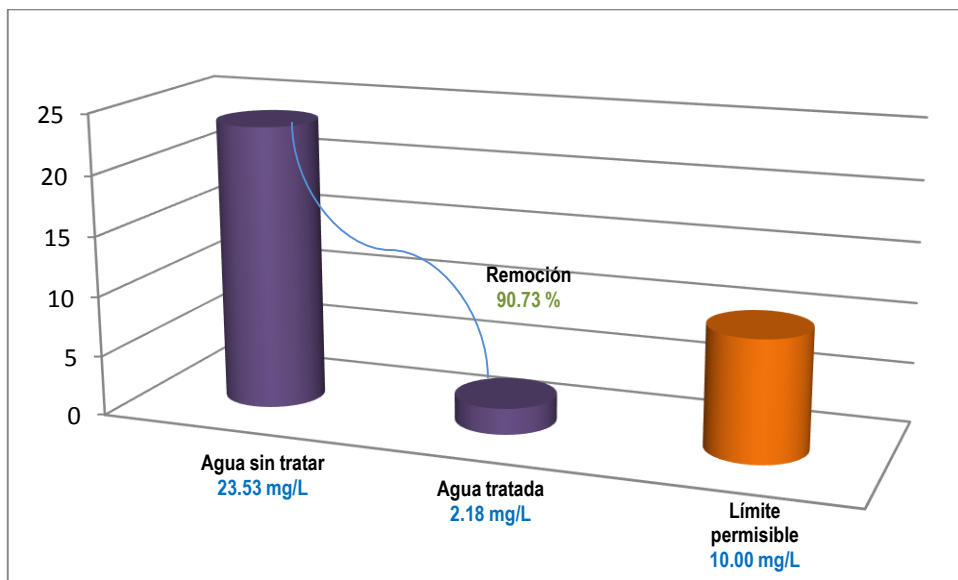
En el gráfico 10 – 3 se puede observar que la turbiedad luego de la dosificación del polímero, auxiliar y coagulantes existe una remoción del 99.49 % de sólidos, hecho que indica la formación de flocs y su decantación fue eficiente al encontrar la dosis óptima de estos productos químicos.



**Gráfico 10 – 3:** Resultados de los análisis de turbiedad

Realizado por: Alexis Lema, 2015

En el gráfico 11 - 3 se puede observar existe una remoción del 90.73 % de nitrógeno total, lo que repercute en que no exista un agotamiento del oxígeno y eutrofización de las aguas ya que no está en concentraciones elevadas.

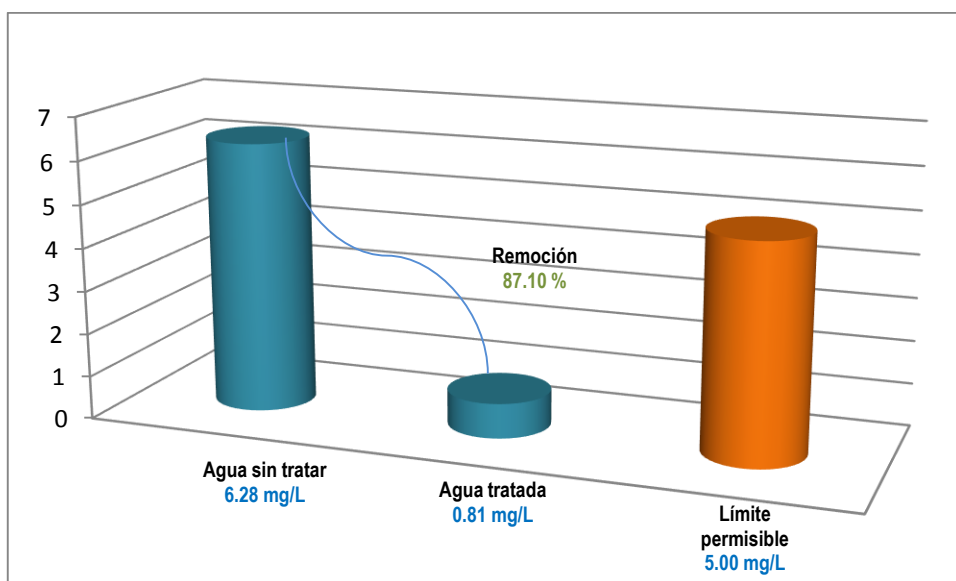


**Gráfico 11 – 3:** Resultados de los análisis de nitrógeno total

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

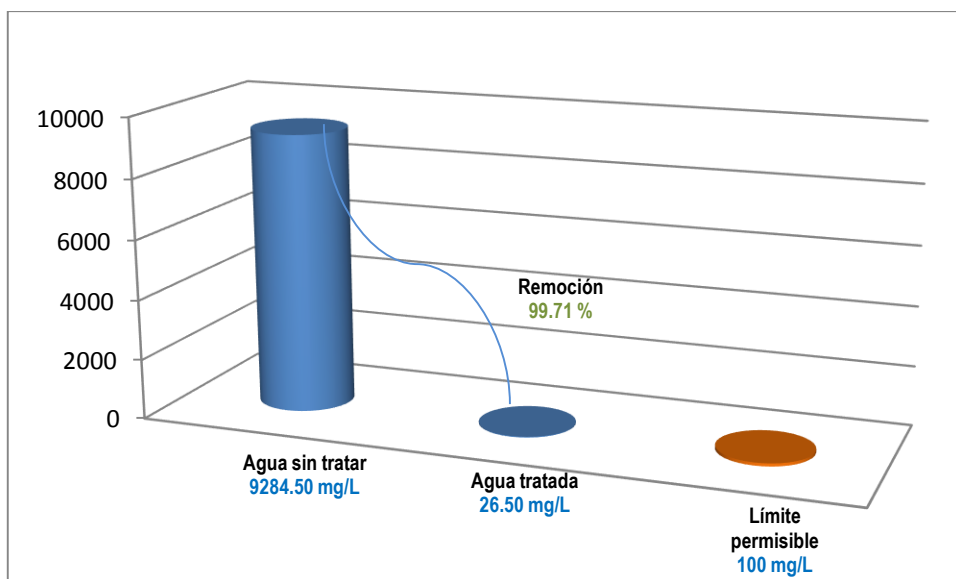
En el gráfico 12 -3 se puede observar una remoción en la concentración de los fluoruros del 87.10 %, esto se debe a la dosificación de sulfato de aluminio, cal e hipoclorito de calcio logrando su

precipitación y neutralización, evitando de esta manera un riesgo potencial para el medio ambiente, la fauna acuática y la salud humana.



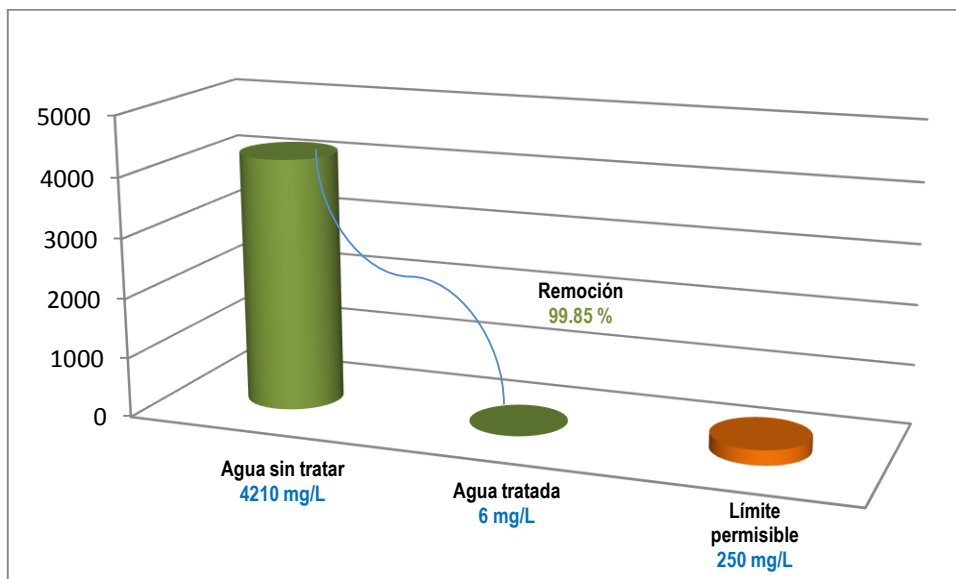
**Gráfico 12 – 3:** Resultados de los análisis de la concentración de fluoruros  
Realizado por: Alexis Lema, 2015.

En el gráfico 13 - 3 se puede observar una remoción en la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del 99.71 %, porcentaje eficiente y que se encuentra dentro de los límites permisibles, lo que demuestra que existe una degradación bioquímica de la materia orgánica.



**Gráfico 13 – 3:** Resultados de los análisis de DBO<sub>5</sub>  
Realizado por: Alexis Lema, 2015

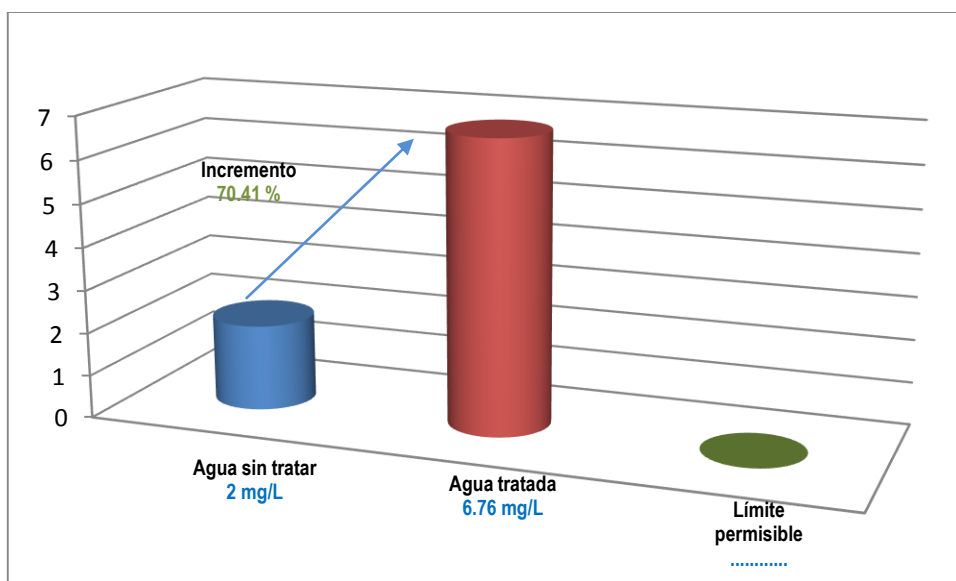
En el gráfico 14 - 3 se puede observar una remoción en la concentración de la demanda química de oxígeno del 99.85 %, lo que demuestra que existe una precipitación considerable de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos.



**Gráfico 14 – 3:** Resultados de los análisis de DQO

Realizado por: Alexis Lema, 2015

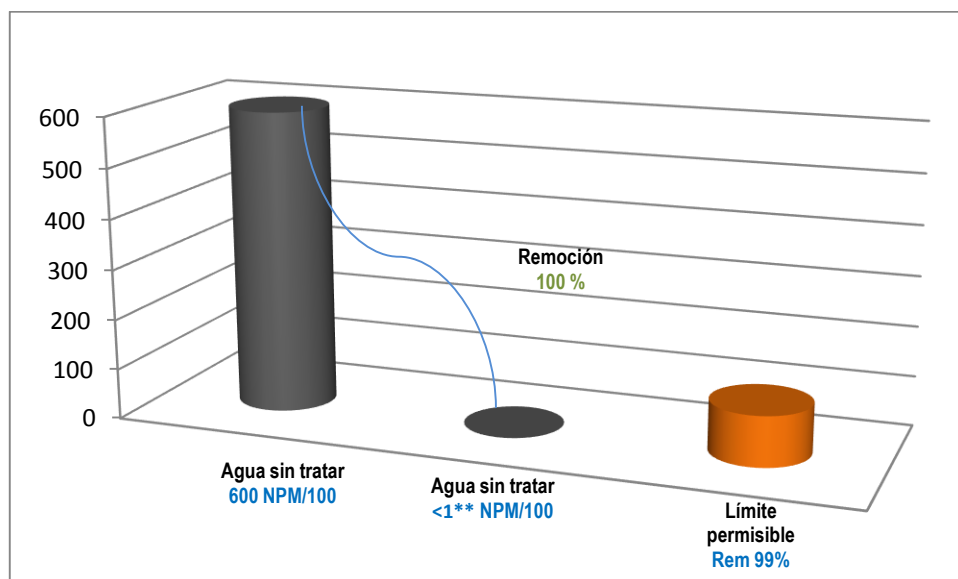
En el gráfico 15 - 3 se puede observar que existe un incremento del 70.41 % de oxígeno disuelto, es decir, se encuentra en las concentraciones deseables que indican que la calidad del agua se mejoró notablemente.



**Gráfico 15 – 3:** Resultados de los análisis de oxígeno disuelto

Realizado por: Alexis Lema, 2015.

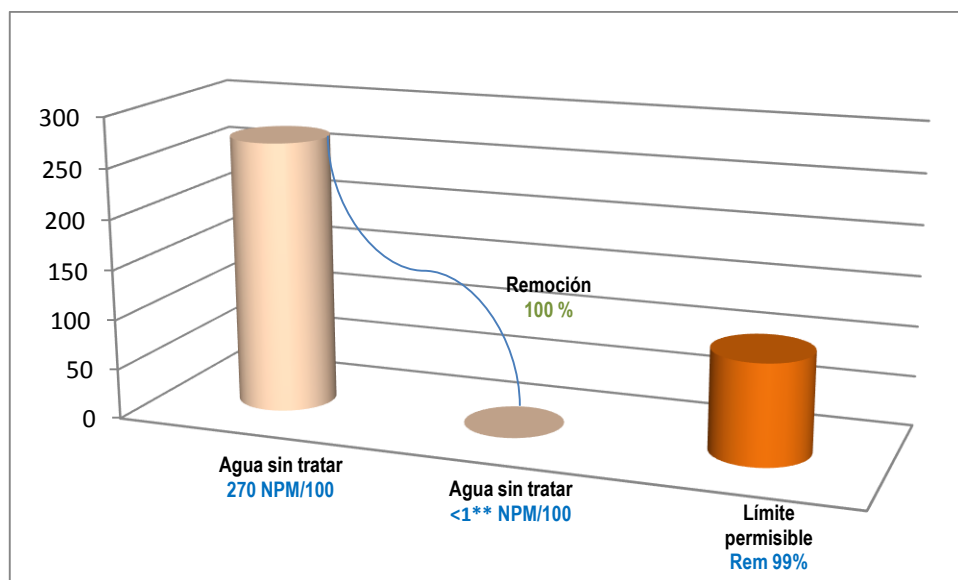
En el gráfico 16 - 3 se puede observar la eliminación al 100 % de los coliformes totales, parámetro bacteriológico relevante considerado como indicador de contaminación, ya que conforma un grupo de microorganismos.



**Gráfico 16 – 3:** Resultados de los análisis de coliformes totales

Realizado por: Alexis Lema, 2015

En el gráfico 17 - 3 se puede observar la eliminación al 100 % de los coliformes fecales, lo que indica que ya no existe una contaminación proveniente de excretas humanas o animales.



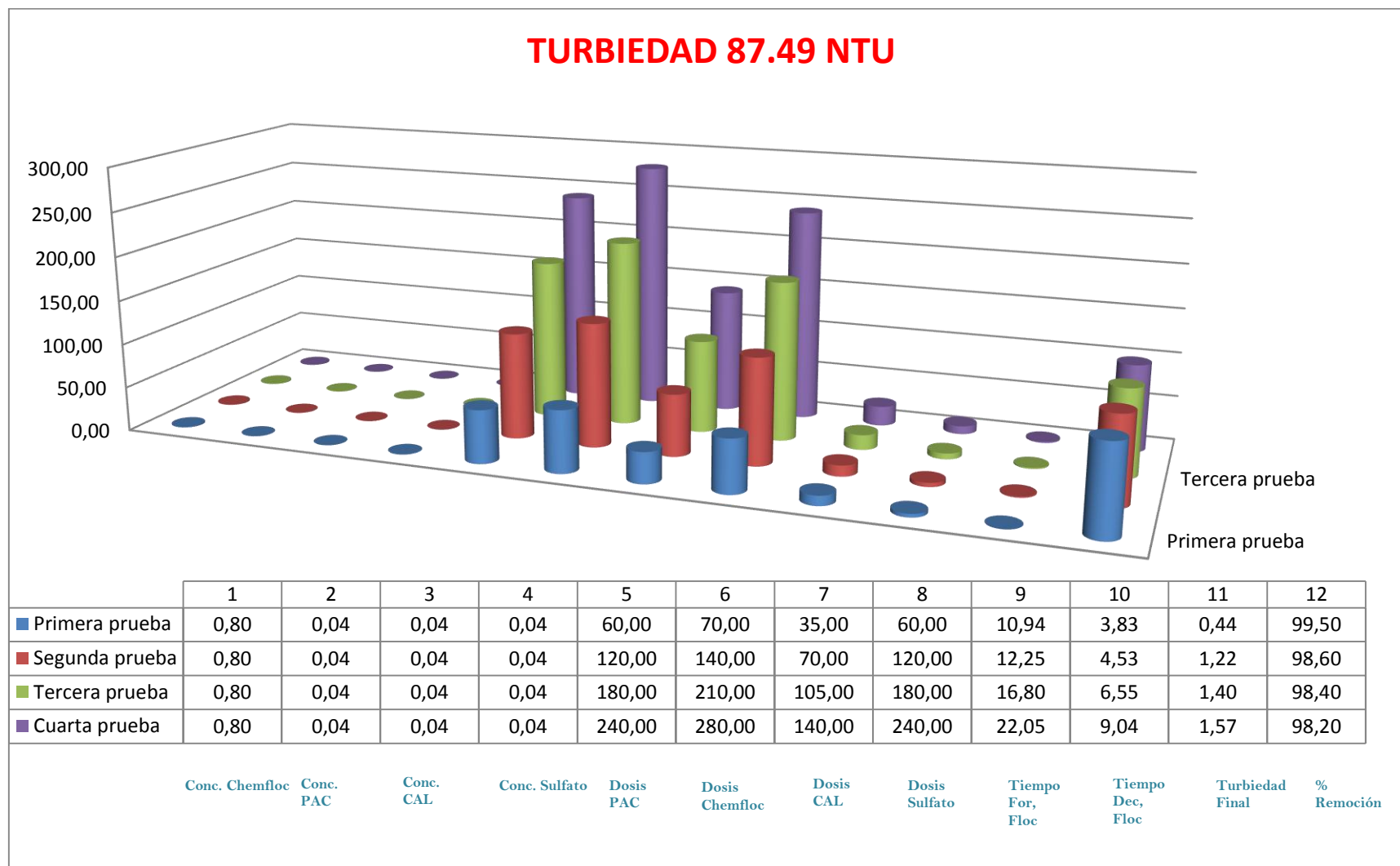
**Gráfico 17 – 3:** Resultados de los análisis de coliformes fecales

Realizado por: Alexis Lema, 2015

### ***3.11.1 Test de jarras***

La ejecución del test de jarras consistió en la dosificación a distintas concentraciones de policloruro de aluminio y chemfloc para que las partículas que no tienen el peso para decantar se aglutinen entre sí, hasta formar floc y precipitar, a la vez se dosifico sulfato de aluminio y cal para poder eliminar los olores que emanaban al momento de la realización de las pruebas de tratabilidad.

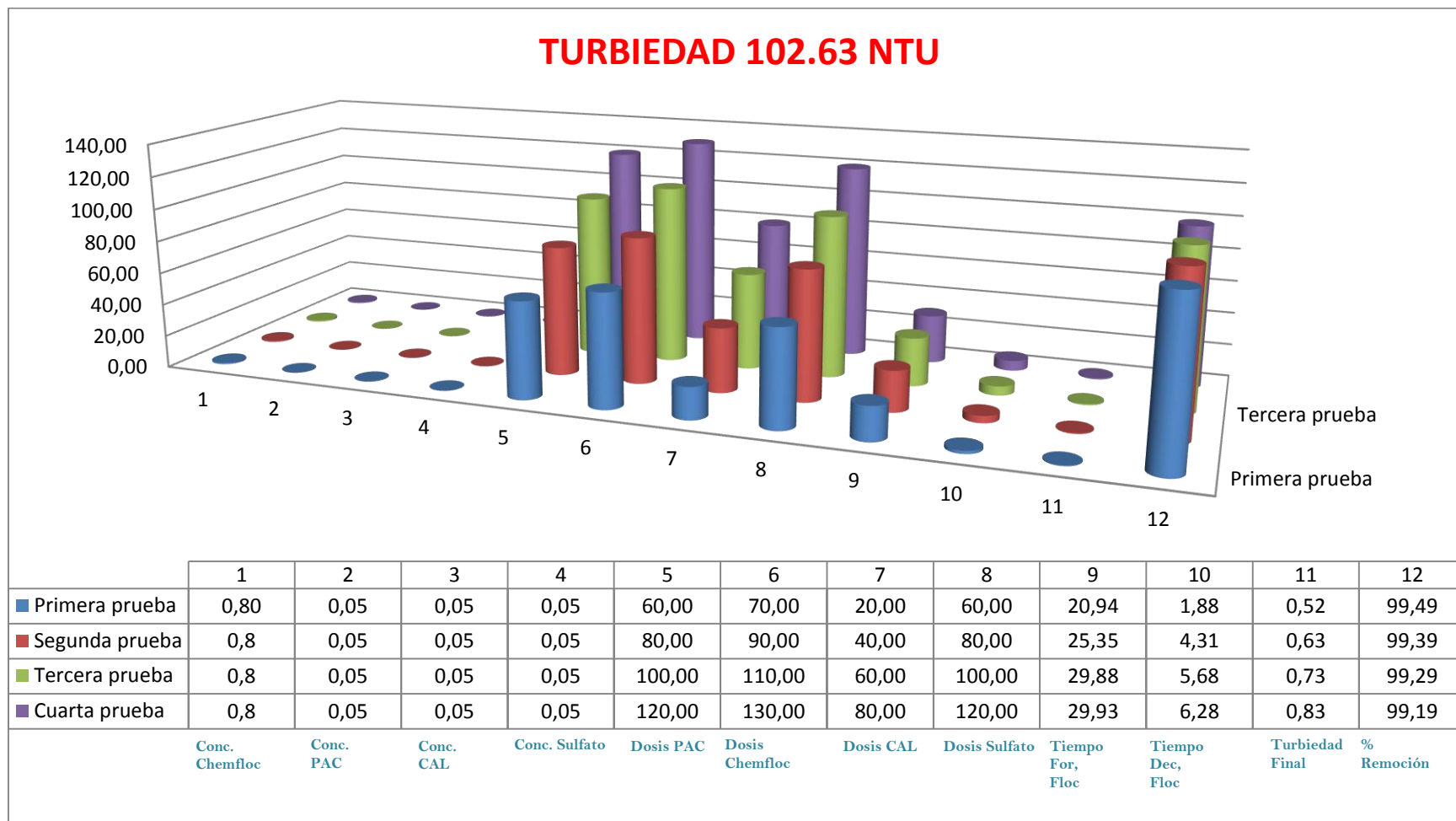
El test de jarras se realizó a las dos muestras compuestas de agua residual que presentaban turbiedades de 250 UTC y 102,63 NTU y 136UTC y 87.40 NTU, lo cual permitió obtener los máximos y mínimos de las dosis óptimas, es decir las concentraciones correctas de los polímeros y coagulantes antes descriptos.



**Gráfico 18 – 3: Test de jarras turbiedad 87.40 NTU**

Realizado por: Alexis Lema, 2015





**Gráfico 19 – 3: Test de jarras turbiedad 102.63 NTU**

Realizado por: Alexis Lema, 2015

## CONCLUSIONES

- Las aguas residuales provenientes de la Parroquia San Luis de Pambil del cantón Guaranda presentan, según la caracterización inicial física, química y microbiológica, parámetros que se encuentran fuera de la norma TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 12. Que son: Nitrógeno Total 23,53 mg/L, Fluoruros 6,28 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 9284,5 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 4210,00 mg/L, Coliformes Totales 600,00 NPM/100 mL, Coliformes Fecales 270,00 NMP/ 100 mL.
- Con la identificación de las variables de proceso que son: el caudal punta 0,09m<sup>3</sup>/s y la población futura 7546 habitantes se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales que controló los parámetros fuera de la norma TULSMA Libro VI Anexo I Tabla 12.
- Los cálculos se realizaron según criterios de diseño y ecuaciones sugeridas por bibliografías y normas de diseño para tratamiento de aguas residuales, basados en el caudal punta y proyectados para 15 años tomando en cuenta un área total de 2000 m<sup>2</sup>. El sistema de tratamiento de aguas residuales para la Parroquia San Luis de Pambil del Cantón Guaranda consta de los siguientes procesos: rejillas, desarenador, canal Parshall, tanque mezclador, filtro anaeróbico de flujo ascendente, y tanque de desinfección. Estos procesos resultaron eficiente para cumplir con los parámetros que están fuera de norma.
- Con el diseño de tratamiento planteado, se comprobó mediante la experimentación y caracterización físico-química y microbiológica final la disminución de una gran cantidad de contaminantes teniendo como resultado: Nitrógeno Total 2,18 mg/L, Fluoruros 1,63 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) 26,50 mg/L, Demanda Química de Oxígeno 6,00 mg/L, Coliformes Totales <1\*\* NPM/100 mL, Coliformes Fecales <1\*\* NMP/ 100 mL, cumpliendo como los límites permisibles del TULSMA libro VI anexo I tabla 12. Descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Los costos de la implementación del sistema de tratamiento de agua residual es de \$ 53.063,84 (cincuenta y tres mil sesenta y tres dólares y ochenta y cuatro centavos) este valor engloba desde el estudio técnico hasta la construcción de todo el sistema. Así también el costo mensual de los productos químicos para el tratamiento del agua residual es de \$ 2629,58 (dos mil seiscientos veinte y nueve dólares y cincuenta y ocho centavos).

## RECOMENADACIONES

- Se recomienda realizar la caracterización físico químico y microbiológico periódicamente de la descarga del agua residual para obtener una base de datos que nos permita controlar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual.
- Para obtener resultados apropiados en el laboratorio será necesario contar con equipos calibrados y con la supervisión de un profesional en la rama para confirmar que los resultados sean lo más exactos posibles.
- La cantidad de lodos que se genere en la planta deberán ser evacuados rápidamente para que no se interfieran en el eficiente funcionamiento del sistema.
- En la compensación de la capa de arena del lecho de secado de lodos, la arena que se utilice para reponer el espesor original debe ser de las mismas características que la especificada en su construcción.
- Se recomienda la construcción de una unidad más de filtración para cuando se de mantenimiento a los filtros anaeróbicos.
- El equipo de la dosificación de químicos debe estar en buenas condiciones de operación, para no tener problemas de desperdicio de productos químicos, ya que esto aumentaría los gastos de operación de la planta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**BENAYAS, J.,** El Agua, Guía para la Educación Ambiental. Bogotá-Colombia. McGraw-Hill. 1989, pp. 5-13.

**BUCAI, R.,** Rediseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para EP-Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Guaranda. (Tesis) (Ing. Química). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2013, pp. 117, 118.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3658/1/96T00273%20UDCTFC.pdf>  
2015-08-21

**CRITES, R., & TCHOBANOGLOUS, G.,** Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2ªed., Bogotá-Colombia. McGraw-Hill. 2000, pp. 7-10; 200-204.

**ECUADOR, MINISTERIO DE AMBIENTE.,** Texto Unificado de legislación Secundaria de Medio Ambiente., Libro VI- Anexo I: Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua., Quito-Ecuador., 2010., pp. 330.

**ECUADOR, GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE GUARANDA.,** Información relevante y datos socioeconómicos del cantón Guaranda.

<http://www.guaranda.gob.ec/web/el-canton/datos-importantes>  
2015-07-07

**ECUADOR, ECUELA SUPERIOR POLITÉCTINA DE CHIMBORAZO.,** Líneas de Investigación. 2011.

[http://TbGUU6PIKovSsATRu4C4Dw&usg=AFQjCNFtROCqDhGGlpOg9D3JyavsBIq\\_Gg&bvm=bv.68445247,d.cWc](http://TbGUU6PIKovSsATRu4C4Dw&usg=AFQjCNFtROCqDhGGlpOg9D3JyavsBIq_Gg&bvm=bv.68445247,d.cWc)  
2015-10-10

**ECUADOR, EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE DE GUARANDA.,** Proceso de producción y red de distribución. 2014.

<http://www.emapag.gob.ec/1/AGUAPOTABLE/Procesosdeproducci%C3%B3nydistribuci%C3%B3n.aspx>  
2015-07-07

**ISLA DE JUANA, R.,** Proyectos de plantas de tratamiento de aguas: aguas de proceso, residuales, y de refrigeración. Madrid-España. Ediciones Bellisco. 2005, pp. 29, 159, 160, 215.

**METCALF., & EDDY.,** Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 4ªed., Madrid-España. McGraw-Hill. 2009, pp. 554-582.

**OROZCO, A.**, Biotecnología de Aguas Residuales: Teoría y Diseño. 1ªed., Bogotá-Colombia., Acodal. 2005, pp. 13-15; 17-19.

**OSORIO, F.**, Tratamiento de Aguas para la Eliminación de Microorganismos y Agentes Contaminantes. 1ªed., Madrid-España. Reveté. 2003., pp. 29; 77-78.

**PERÚ, OPS/CEPIS.**, Especificaciones técnicas para el diseño de plantas de tratamiento de agua residual., 1ªed., Lima-Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente. 2003., pp. 7-48.

**PERÚ, GTZ-OPS/OMS-HPE-CEPIS.**, Proyecto Educación Continua en Tecnologías Apropriadas en Agua y Saneamiento para Profesores Universitarios en América Latina., HPE-CEPIS. 1993, pp. 2-18.

**RAMALHO, R.**, Tratamiento de aguas residuales. 2ªed., Sevilla-España. Reveté S.A. 2003, pp. 53-63.

**ROJAS, R.**, Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS/05.168 – OMS. Curso internacional: “Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales”. Lima - Perú. 2005, pp. 18-20; 139; 706-730.

**ROMERO, J.**, Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. 3ªed., Bogotá - Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004, pp. 18-20; 139; 706-730.

**ROS, G.**, Contaminación de Aguas en Ecuador. Quito-Ecuador. Abya Yala. 1995, pp. 20-30.

**ZAPATA, M.**, Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el laboratorio de control de calidad de la EP. EMAPA-G, Cantón Guaranda, Provincia de Bolívar (Tesis) (Ing. Biotecnología Ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2015, pp. 2-5, 39.

## ANEXOS

### ANEXO A.

#### NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. LIBRO VI. ANEXO 1

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>1</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2

<sup>1</sup> Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados	mg/l	0,1

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
	totales.		
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> =	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	oC		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0



## **ANEXO B.**

### **PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA PARA EL DISEÑO**

<b>Año</b>	<b>Proyección</b>	<b>Población</b>
2015	0	6500
2016	1	6565
2017	2	6630
2018	3	6696
2019	4	6763
2020	5	6831
2021	6	6899
2022	7	6968
2023	8	7038
2024	9	7108
2025	10	7180
2026	11	7251
2027	12	7324
2028	13	7397
2029	14	7471
2030	15	7546

Realizado por: Alexis Lema, 2015

## ANEXO C.

### ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO



#### RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO AGUA RESIDUAL PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	SEMANA MONITOREADA		
		Lim.Max.Per	12-ago	17-ago	26-ago
COLOR	UTC	lna. en dis	60.00	40.00	100.00
TURBIEDAD	NTU	.....	54.00	39.64	63.60
pH	.....	.....	7.69	7.30	7.80
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	198.75	167.42	176.39
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	86.43	63.45	75.38
TEMPERATURA	° C	.....	18.42	18.95	19.98
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	15.10	20.83	32.65
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> 3-)	mg/L	10.0	4.20	3.64	3.08
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	2.40	2.64	2.45
SULFATOS (SO <sub>4</sub> 2-)	mg/L	1000	4.00	10	8.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	5.35	6.00	6.24
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	6.36	5.9	7.30
MANGANESO (Mn 2+)	mg/L	2.0	0.648	0.785	0.813
CROMO (Cr 6+)	mg/L	0.5	0.23	0.19	0.18
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.45	0.36	0.40
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	250.00	320.00	400.00
ALUMINIO (Al 3+)	mg/L	5.0	0.04	0.04	0.05
CLORUROS (Cl-)	mg/L	1000	420.170	341.040	370.260
NIOBEL (Ni)	mg/L	2.0	0.38	0.23	0.36
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.32	0.46	0.30
PLOMO (Pb2+)	mg/L	.....	0.007	0.008	0.008
ZINC (Zn2+)	mg/L	5.0	0.50	0.48	0.59
PLATA (Ag+)	mg/L	.....	0.007	0.007	0.008
CIANURO (CN-)	mg/L	0.1	0.007	0.007	0.008
BARIO (Ba2+)	mg/L	2.0	1.50	1.43	1.39
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.007	0.008	0.008
MOLIBDENO (Mo6+)	mg/L	.....	0.007	0.007	0.005
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.31	0.24	0.27
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	3.00	2.00	2.00
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	8963	8470	8204
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	250	3782	4082	4028
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	520	600	680
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Reg. al 99%	258	324	420

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TULSMA, LIBRO VI, TABLA 12, DESCARGA A UN CUERPO DULCE  
NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la E.P-EMAPA-G

ING. QUI. RAUL ALLAN

Técnico Control de Calidad E.P-EMAPA-G

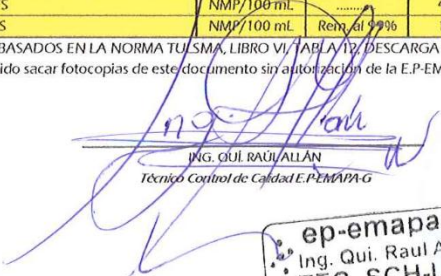


RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO  
 AGUA RESIDUAL PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TUSMA	SEMANA MONITOREADA		
		Lim.Max.Per	03-ago	05-ago	10-ago
COLOR	UTC	lna. en dis	90.00	85.00	120.00
TURBIEDAD	NTU	.....	43.12	30.61	60.68
pH	.....	.....	7.65	7.32	7.85
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	237.74	209.52	324.96
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	156.03	140.06	170.94
TEMPERATURA	°C	.....	18.31	17.94	18.12
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	20.35	25.75	30.72
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	3.07	2.97	3.62
NITROGENO AMONIACAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	21.64	24.81	26.49
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	5.00	8.00	10.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	6.00	6.57	6.04
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	6.65	7.40	6.48
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.563	0.839	0.541
CROMO (Cr <sup>16</sup> )	mg/L	0.5	0.23	0.19	0.20
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.51	0.84	0.75
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	400.00	360.00	520.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.045	0.032	0.079
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	346.58	398.35	468.79
NIOQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.28	0.37	0.26
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.24	0.42	0.25
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008	0.006
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.47	0.52	0.67
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.006	0.007	0.007
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.008	0.006	0.008
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.63	1.79	1.41
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.006	0.007	0.007
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007	0.008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.13	0.19	0.18
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	2.00	2.00	3.00
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	9045	8624	9561
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DOO)	mg/L	250	4076	4362	4598
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	400	500	700
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	Rem. al 99%	120	270	270

LIMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TUSMA, LIBRO VI, TABLA 12, DESCARGA A UN CUERPO DULCE

NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la E.P-EMAPA-G

  
 ING. QUI. RAUL ALLAN  
 Técnico Control de Calidad E.P-EMAPA-G

ep-emapa-g  
 Ing. Qui. Raul Allan  
 TEC. SCH-LAB

RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO  
 AGUA RESIDUAL PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL

PARAMETROS	UNIDAD	Norma TULSMA	Muestras compuestas	
		Lim.Max.Per	07-ago	21-ago
COLOR	UTC	lna. en dis	250.00	186.00
TURBIEDAD	NTU	.....	102.63	87.49
pH	.....	.....	7.70	7.50
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	260.64	170.52
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	120.05	150.78
TEMPERATURA	° C	.....	18.94	18.84
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	10.0	25.07	22.00
FOSFATOS (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	10.0	5.93	6.48
NITROGENO AMONIAICAL (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	.....	3.12	3.67
SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	1000	6.00	9.00
FLUORUROS (F)	mg/L	5.0	5.86	6.71
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10.0	7.15	6.83
MANGANESO (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	0.754	0.869
CROMO (Cr <sup>6+</sup> )	mg/L	0.5	0.25	0.21
COBRE (Cu)	mg/L	1.0	0.48	0.46
DUREZA TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	.....	300.00	312.00
ALUMINIO (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	5.0	0.005	0.007
CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	1000	430.670	410.380
NIOQUEL (Ni)	mg/L	2.0	0.40	0.35
COBALTO (Co)	mg/L	0.5	0.36	0.48
PLOMO (Pb <sup>2+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008
ZINC (Zn <sup>2+</sup> )	mg/L	5.0	0.35	0.50
PLATA (Ag <sup>+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.007
CIANURO (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0.1	0.006	0.008
BARIO (Ba <sup>2+</sup> )	mg/L	2.0	1.42	1.64
BROMO (Br)	mg/L	.....	0.009	0.008
MOLIBDENO (Mo <sup>6+</sup> )	mg/L	.....	0.008	0.008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0.37	0.25
OXIGENO DISUELTO (O <sub>2</sub> )	mg/L	.....	2.00	2.00
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100	9626	8943
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DOO)	mg/L	250	4639	3781
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	580	620
COLIFORMES FECALIS	NMP/100 mL / Rem. al 99%	.....	246	294

LÍMITES PERMISIBLES BASADOS EN LA NORMA TULSMA, LIBRO VI, TABLA 12, DESCARGA A UN CUERPO DULCE

NOTA: No está permitido sacar fotocopias de este documento sin autorización de la E.P.EMAPA-G

ING. QUI. RAUL ALLAN  
 Técnico Control de Calidad E.P.EMAPA-G

ep-emapag  
 Ing. Qui. Raul Allan  
 TEC. SCH-LAB



## ANEXO D.

### FICHAS TÉCNICAS DE QUÍMICOS

JP QUIMICA S.C.C.

Via Amaguaña, Molinos de Viento- Calle Sancho Panza s/n -Sangolquí

CAL T-30

## BOLETIN TECNICO

### CAL T-30 (Especial)

#### Descripción

La Cal T-30 especial es un producto resultante de la calcinación y posterior hidratación del Carbonato de calcio, conocido como Hidróxido de calcio o cal hidratada, posee agregados que mejoran su desempeño en la regulación del PH.

La Cal T-30 especial proviene de una materia prima con una concentración aproximada del 96% de Carbonato de calcio.

La Cal T-30 especial viene en presentación de 25 Kg. o 50 Kg. en saco plástico laminado

#### Aplicaciones

La Cal T-30 se usa en tratamiento de agua potable, regulación del PH, tratamiento de suelos, acuicultura, curtiembre, alimentos, tratamiento de residuos, tratamiento de aguas residuales, etc.

#### Características físicas

Color blanco

Tamaño fino de partícula

Malla 200

#### Especificaciones técnicas

Hidróxido de calcio	> 70%
Densidad aproximada	0,65 gramos/cm3.

- La granulometría puede variar en función del requerimiento del cliente.

## BOLETIN TECNICO PAC -P25A

### BENEFICIOS:

- Policloruro de Aluminio utilizado para clarificar agua, para consumo.
- Es totalmente soluble en agua. No ocasiona taponamientos, ni incrustaciones.
- Reemplaza el uso de alumbre y otros coagulantes inorgánicos.
- Efectivo en aguas con alta y baja turbidez.
- Resistente al cloro, puede usarse en sistema con pre-cloración, sin reducción en su actividad.
- Rango de pH en el que la eficiencia del producto es óptima entre: 8,5 – 12.0

### USOS PRINCIPALES:

- Es una formulación de polímeros orgánicos e inorgánicos diseñado para clarificar agua de alta y baja turbidez con PH alcalino.
- Funciona extrayendo los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua, por procesos de coagulación.
- Trabaja con el uso adicional de un floculante orgánico para dar peso suficiente al flóculo formado por la aglomeración de varios coloides para asentarse con la rapidez deseada.

### CARACTERÍSTICAS:

Apariencia:	Líquido ligeramente marrón
Grav. Esp. A 25°C:	1.24 ± 0.01
PH puro:	Menor a 1
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	12.0 – 18.0



**DOSIS:**

La dosis del PAC – P25A en general está en función de la turbidez y pH del agua, pudiendo variar entre 20 a 350 ppm en la potabilización de agua; para determinar la dosis óptima se requiere aplicar el Producto diluido hasta que el agua se encuentre en un rango entre: 6,8 a 6,5 observando el punto de mejor clarificación por el tamaño y peso del flóculo. **Se debe evitar la sobredosificación** porque el exceso de químico en el agua genera lodo muy liviano y el pH baja rápidamente, lo que puede producir agua muy ácida si no existe adecuado control.

**APLICACIÓN:**

- Debe aplicarse a la línea de agua en su forma original o en dilución dependiendo de las dosis y el Caudal a tratar.
- Para su máxima eficiencia se inyecta a una distancia prudencial del clarificador y en agua pre-clorada.

**MANEJO:**

- Se recomienda el uso de guantes de caucho y de anteojos de seguridad.
- Puede causar irritación a la piel y a los ojos por lo que hay que evitar el contacto prolongado o repetido con la piel.

**ALMACENAMIENTO:**

- Almacene el producto en recipientes plásticos cerrados.
- No es explosivo.
- Manténgase alejado del personal no autorizado.

**SUMINISTRO:**

- Se suministra en tambores plásticos de 250 Kg. peso neto.
- Se suministra en canecas de 30 Kg o 40 Kg Peso neto.

## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



- Fabricante: Arch Chemicals, Inc.
- Nombre Químico: Hipoclorito de calcio al 68%
- Fórmula Química:  $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Numero CAS: 7778-54-3
- Propiedades Físicas y Químicas

Parámetro	Especificaciones
Apariencia	Blanco, polvo o en tabletas
Olor	Parecido al cloro
Solubilidad en agua	18% a 25°C
Humedad	< 16%
pH	10.4 - 10.8 (solución al 1% en agua destilada neutral a 25°C)
Densidad	0.8 g/cc (Granular) 1.9 g/cc (Tabletas)

- Composición

Nombre	Especificaciones	Peso Típico
Cloro libre	65 – 80%	68%
Cloruro de Sodio, NaCl	10 – 20%	17%
Clorato de Calcio, $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$	0 – 5%	1.4%
Cloruro de Calcio, $\text{CaCl}_2$	0 – 5%	0.5%
Carbonato de Calcio, $\text{CaCO}_3$	0 – 5%	2.3%
Hidróxido de Calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0 – 4%	1.64%
Agua	5.5 – 8.5	
Insolubles	<5% w/w	



## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



Parámetro	Arch Product
Arsénico (As)	< 1 mg/kg
Cadmio (Cd)	< 1 mg/kg
Cromo (Cr)	< 8 mg/kg
Hierro (Fe)	< 300 mg/kg
Manganeso (Mn)	< 10 mg/kg
Mercurio (Hg)	< 1 mg/kg
Níquel (Ni)	< 8 mg/kg
Plomo (Pb)	< 1 mg/kg
Antimonio (Sb)	< 2 mg/kg
Selenio (Se)	< 2 mg/kg
Ion Bromato ( $\text{BrO}_3^-$ )	< 121 mg/Kg
Ion Clorato ( $\text{ClO}_3^-$ )	< 21.1 g/Kg

### • Precauciones Para El Manejo, Transporte Y Almacenaje Seguro Del Producto

1. Manténgase herméticamente cerrado en los contenedores originales.
2. Almacénese en un área fresca, seca y bien ventilada.
3. Almacénese lejos de productos inflamables o combustibles.
4. Mantenga el empaque del producto limpio y libre de toda contaminación, incluyendo, por ejem., otros productos para el tratamiento de albercas, ácidos, materiales orgánicos, compuestos que contengan nitrógeno, extintores de fuego de arenilla carbónica (que contengan fosfato monomaniaco), oxidantes, todo líquido corrosivo, materiales inflamables o combustibles, etc.
5. NO SE ALMACENE A TEMPERATURAS SUPERIORES A: 52 Grados C. (125 Grados F.) Almacenarlo arriba de estas temperaturas pudiera resultar en una descomposición rápida, evolución de gas de cloro y suficiente calor para encender productos combustibles.

### • Primeros Auxilios

- EN CASO DE INHALACIÓN: Traslade a la persona a un lugar donde haya aire fresco. Si la persona no respira, llame a una ambulancia, luego dele respiración artificial, preferiblemente, boca a boca, si es posible. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar más consejos sobre el tratamiento.
- EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL O LA ROPA: Quítese la ropa contaminada. Enjuague la piel inmediatamente con mucha agua de 15 a 20 minutos. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.

## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



- EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Mantenga el ojo abierto y enjuágueselo lenta y suavemente con agua de 15 a 20 minutos. Si tiene lentes de contacto, quíteselos después de los primeros 5 minutos y luego continúe enjuagando. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.
- Ingestión: EN CASO DE INGESTION: Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico inmediatamente para solicitar consejos sobre el tratamiento. Pida a la persona que beba a sorbos un vaso de agua si puede tragar. No induzca el vómito, a menos que un centro de control de intoxicaciones o un médico se lo indique. No dé nada por la boca a una persona que haya perdido el conocimiento.
- Notas para el médico: El probable daño a las mucosas puede ser una contraindicación para el uso de lavado gástrico

### • Preparación de Soluciones de Cloro

Las soluciones de HTH® Cloro Seco deben prepararse en contenedores de polietileno limpios. Primero ponga el volumen requerido de agua. Después agregue la cantidad requerida de HTH® Cloro Seco al agua. Agite con un agitador de madera o metal limpio, asegurándose de mantenerlo lejos de la ropa, piel ojos. La solución resultante se puede colocar en otro contenedor o puede alimentarse de ese mismo contenedor, siempre y cuando la entrada de la línea a la bomba de alimentación química, este por arriba del nivel de los insolubles asentados.

Cloro Disponible	Volumen de Agua en Litros										
	100	180	300	400	500	1000	2000	3000	4000	5000	10000
PPM	Gramos de HTH Cloro Seco Requeridos										
0.5	0.08	0.14	0.23	0.31	0.38	0.77	1.54	2.31	3.08	3.85	7.69
1	0.15	0.28	0.46	0.62	0.77	1.54	3.08	4.62	6.15	7.69	15.38
5	0.77	1.38	2.31	3.08	3.85	7.69	15.38	23.08	30.77	38.46	76.92
10	1.54	2.77	4.62	6.15	7.69	15.38	30.77	46.15	61.54	76.92	153.8
15	2.31	4.15	6.92	9.23	11.54	23.08	46.15	69.23	92.31	115.4	230.8
20	3.08	5.54	9.23	12.31	15.38	30.77	61.54	92.31	123.1	153.8	307.7
25	3.85	6.92	11.54	15.38	19.23	38.46	76.92	115.4	153.8	192.3	384.6
30	4.62	8.31	13.85	18.46	23.08	46.15	92.31	138.5	184.6	230.8	461.5
40	6.15	11.08	18.46	24.62	30.77	61.54	123.1	184.6	246.2	307.7	615.4
50	7.69	13.85	23.08	30.77	38.46	76.92	153.8	230.8	307.7	384.6	769.2
60	9.23	16.62	27.69	36.92	46.15	92.31	184.6	276.9	369.2	461.5	923.1
70	10.77	19.38	32.31	43.08	53.85	107.7	215.4	323.1	430.8	538.5	1077
80	12.31	22.15	36.92	49.23	61.54	123.1	246.2	369.2	492.3	615.4	1230.8
90	13.85	24.92	41.54	55.38	69.23	138.5	276.9	415.4	553.8	692.3	1384.6
100	15.38	27.69	46.15	61.54	76.92	153.8	307.7	461.5	615.4	769.2	1538



## Ficha Técnica – Hipoclorito de Calcio



- País de Origen: El hipoclorito de calcio es fabricado en nuestra planta ubicada en Charleston, Tn. en los Estados Unidos de América.
- Presentaciones
  - HTH Granular tambores de 45 Kgs.
  - HTH Briquettes tambores de 45 Kgs.
    - Dimensiones: Aproximadamente 35 x 24 x 12 mm.
    - Peso: 6.4 – 7.0 gramos
  - CCH Tableta de 3" cubetas de 50 lbs.
    - Inhibidor (% en peso): 0.5% mínimo
    - Peso: Aproximadamente 300 gramos
    - Diámetro: Aproximadamente 3.0 pulgadas
    - Altura: 1.35 – 1.45 pulgadas
- Regulatorio:
  - EPA No. 1258-1179
  - NSF Standard 60, Drinking Water Additives
  - Cumple con AWWA Standard B300
  - Cumple con NMX-AA-124-SCFI-2006
  - UN2880 para HTH Granular y CCH Tableta de 3"
  - UN1748 para HTH Briquettes

Cloruro de Calcio, $\text{CaCl}_2$	65 – 68%	65%
Cloruro de Calcio, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	32 – 33%	32%
Cloruro de Calcio, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18 – 19%	18%
Cloruro de Calcio, $\text{CaCl}_2$	0 – 1%	0.05%
Carbonato de Calcio, $\text{CaCO}_3$	0 – 1%	0.05%
Hidróxido de Calcio, $\text{Ca(OH)}_2$	0 – 1%	0.05%
Agua	2.5 – 3.5	2.5%
Inhibidor	0.5 – 1.0	0.5%

## ANEXO E.

### MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA

POTENCIAL HIDRÓGENO	EQUIPO	Potenciómetro
	MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>vasos de vidrio</li> <li>Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución Buffer pH 4 (caducidad fijada por el fabricante)</li> <li>Solución Buffer pH 7 (caducidad fijada por el fabricante)</li> <li>Agua destilada.</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Después que el equipo haya sido calibrado, ponga 100 ml de muestra en un vaso de 250ml. Introduzca el electrodo en el vaso, agitar y presione READ.</li> <li>Deje un tiempo estable hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de pH directamente de la pantalla.</li> <li>Registre el valor.</li> <li>Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Ponga el electrodo en el porta electrodo hasta volver a utilizar.</li> </ol>
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conductímetro</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vasos de precipitación</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra de agua</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Es aconsejable operar con el material de vidrio rigurosamente limpio y lavado antes de su uso con agua destilada.</li> <li>En un vaso de precipitación colocamos 100 ml de muestra de agua.</li> <li>Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar.</li> <li>Determinamos el parámetro de medida (Cond) en el equipo y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable.</li> <li>Lea la medida de conductividad directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura.</li> <li>Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.</li> </ol>
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conductímetro</li> <li>– Electrodo</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vasos de precipitación</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra de agua</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada, sumergir en el recipiente que contiene el agua examinar.</li> </ol>

	PROCEDIMIENTO	<p>2. Seleccionamos el parámetro de medida en la pantalla (STD) y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable. Lea la medida de sólidos totales disueltos directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura.</p> <p>3. Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.</p>
CLORO, Total	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobres de reactivo de cloro total DPD en polvo, 10ml</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si la prueba sale de los límites, diluir la muestra con un volumen conocido de agua sin demanda de cloro y de buena calidad y repetir la prueba. Debido a la dilución puede producirse una pérdida de cloro. Multiplicar el resultado por el factor de dilución. En presencia de cloro aparecerá un color rosa, después de la adición del reactivo DPD.
	PROCEDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 80 cloro L&amp;T PP.</li> <li>Lavar las cubetas y la pipeta con la muestra antes de usarlas.</li> <li>Colocar con la pipeta 10 ml de muestra en la cubeta, añadir el contenido de un sobre de reactivo Chlorine Total-DPD. Agitar con rotación durante 20 segundos.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK, comienza un tiempo de reacción de 3 minutos.</li> <li>Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de muestra.</li> <li>Limpia bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cl<sub>2</sub>.</li> <li>Dentro de los 3 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cl<sub>2</sub>.</li> </ul>
ALUMINIO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobres de reactivo de ácido ascórbico en polvo, 10ml</li> <li>Sobres de reactivo de AluVer 3 en polvo</li> <li>Sobres de reactivo Bleaching 3 en polvo</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	- Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Programas almacenados</b> y seleccionar el test <b>10 Aluminio</b>.</li> <li>Llenar un tubo mezclador graduado de 50mL. Añadir el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar el tubo e invertir despacio varias veces para disolver el polvo.</li> <li>Añadir el contenido de un sobre de reactivo de aluminio AluVer 3 en polvo. Tapar el tubo. En presencia de aluminio se formara un color rojo-naranja.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>.</li> <li>Invertir el tubo repetidamente durante un minuto para disolver el polvo. Si hay polvo sin disolver se obtendrán</li> </ol>

COBALTO	PROCEDIMIENTO	<p>resultados erróneos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Preparación del blanco:</b> llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con mezcla del tubo mezclador.</li> <li>Añadir el contenido de un sobre de reactivo Bleaching 3 en polvo a la cubeta.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>.</li> <li>Agitar, con rotación energéticamente durante 30 segundos. Esta solución debería adquirir un color anaranjado de claro a medio.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>. Comienza un periodo de reacción de 15 minutos.</li> <li><b>La muestra preparada:</b> llenar otra cubeta cuadrada, con 10 ml de mezcla del tubo mezclador.</li> <li>Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b>, la pantalla indicará: 0.00mg/L Al<sup>3+</sup>.</li> <li>Inmediatamente limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. El resultado aparecerá en mg/ L Al<sup>3+</sup>.</li> </ol>
	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobres de reactivo de EDTA en polvo</li> <li>• Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo</li> <li>• Solución del indicador PAN 0,3%</li> <li>• Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<p>– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. La formación del color, variara de verde a rojo oscuro, dependiendo de la composición química de la muestra.</p>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Programas almacenados</b> y seleccionar el test <b>110 Cobalto</b>.</li> <li>Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>Para preparar el blanco, llenar otra cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>Añadir el contenido de un sobre de reactivo phthalate-fosfato en polvo a cada cubeta.</li> <li>Con el cuentagotas de plástico añadido agregar 0,5mL de solución del indicador PAN 0,3% a cada cubeta.</li> <li>Tapar las cubetas e invertir varias veces para mezclar.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa <b>OK</b>. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos. El blanco, deberá presentar un color amarillo.</li> <li>Añadir el contenido de un sobre de reactivo EDTA en polvo a cada cubeta. Tapar las cubetas con cuidado y agitar para disolver el polvo.</li> <li>Limpia bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b>, la pantalla indicará: 0.00mg/L Co.</li> <li>Limpia bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha</li> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. El resultado aparecerá en mg/ L Co.</li> </ol>

COBRE	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobres de reactivo CuVer 1 en polvo</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En este caso se utilizara CuVer 2 y una cubeta de 25 mL para las muestras que contienen niveles altos de aluminio, hierro y dureza</li> </ul>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 135 Cobre Bicin.</li> <li>Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre CuVer 1 en polvo. Agitar la cubeta varias veces, con rotación, para mezclar.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</li> <li>Después de que suene el temporizador, llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml.</li> <li>Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Cu.</li> <li>Dentro de los 30 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Cu.</li> </ol>
CLORURO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución férrica</li> <li>Solución tiocianato mercurico</li> <li>Muestra de agu</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.</li> </ul>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 70 Cloruro.</li> <li>Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>Pipetear 0.8 ml de solución tiocianato mercurico en cada cubeta.</li> <li>Agitar, con rotación, para mezclar.</li> <li>Pipetear 0,4 ml de solución férrica en cada cubeta.</li> <li>Agitar, con rotación, para mezclar. En presencia de cloruro aparecerá un color anaranjado.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</li> <li>Dentro de los 5 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> </ol>



		10. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L $\text{Cl}^-$ . 11. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 12. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L $\text{Cl}^-$ .
CROMO, HEXAVALENTE	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobres de reactivo cromo ChromaVer 3 en polvo</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta.
	PROCEDIMIENTO	1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 90 Cromo hex. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cromo ChromaVer 3 en polvo. Agitar, con rotación, para mezclar. Si hay la presencia de este elemento la coloración será violeta. 4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos. 5. Preparación de blanco: llenar otra cubeta de una pulgada de 10 ml hasta la marca 6. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L $\text{Cr}^{6+}$ . 8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L $\text{Cr}^{6+}$ .
FUORIDE (FLUOR)	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución SPADNS Reagent, 2 ml</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
		1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 190 Fluoride. 2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL. 3. Para preparar el blanco, llenar otra cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada. 4. Pipetear 2 ml de solución SPADNS Reagent en cada cubeta. 5. Agitar, con rotación, para mezclar. 6. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1



	PROCEDIMIENTO	<p>minutos.</p> <p>7. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>8. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L F<sup>-</sup>.</p> <p>9. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>10. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L F<sup>-</sup>.</p>
MANGANESO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución de reactivo de cianuro alcalino</li> <li>Solución indicadora PAN 0,1%</li> <li>Sobres de ácido ascórbico en polvo</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<p>Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En ciertas muestras al colocar la solución de reactivo de cianuro alcalino puede formarse una solución turbia, pero esta turbidez se disipará con la solución indicadora Pan 0,1%.</p>
	PROCEDIMIENTO	<p>1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 290 Manganeso.</p> <p>2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</p> <p>3. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</p> <p>4. Añadir a cada cubeta el contenido de un sobre de ácido ascórbico en polvo. Tapar las cubetas e invertir con cuidado para disolver el polvo.</p> <p>5. Añadir 12 gotas de solución de reactivo de cianuro alcalino a cada cubeta. Agitar, con cuidado para mezclar. Se forma una turbidez.</p> <p>6. Añadir 12 gotas de solución indicadora Pan 0,1%, a cada cubeta. Agitar con cuidado para mezclar. Si hay manganeso, la muestra preparada producirá un color anaranjado.</p> <p>7. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 2 minutos.</p> <p>8. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>9. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Mn.</p> <p>10. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</p> <p>11. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Mn.</p>
NIQUEL	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución indicadora PAN 0,3%</li> <li>Sobres de reactivo de EDTA en polvo</li> <li>Sobres de reactivo de phthalate-fosfato en polvo</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<p>Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si la muestra contiene hierro (Fe<sup>3+</sup>) todo el polvo debe estar disuelto antes de colocar la solución indicador PAN 0,3%</p>
		<p>1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 340 Niquel PAN.</p>

	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>3. Para preparar el blanco, llenar otro cubeta cuadrada, con 10 ml de agua desionizada.</li> <li>4. Añadir el contenido de un sobre de reactivo phthalate-fosfato en polvo en cada cubeta.</li> <li>5. Tapar las cubetas y agitar para disolver el polvo.</li> <li>6. Con el cuentagotas de plástico, agregar o, 5 ml de solución del indicador PAN 0,3% a cada cubeta.</li> <li>7. Tapar las cubetas e invertir varias veces para disolver el polvo.</li> <li>8. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 15 minutos. Durante la formación del color, el color de la solución puede variar de naranja amarillento a rojo oscuro, dependiendo de la composición química de la muestra. El blanco debería presentar un color amarillo.</li> <li>9. Después de que suene el temporizador, añadir el contenido de un sobre de reactivo EDTA en polvo a cada cubeta.</li> <li>10. Tapar las cubetas y agitar para disolver el polvo.</li> <li>11. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>12. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Ni.</li> <li>13. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>14. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Ni.</li> </ol>
NITRATO	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sobres de reactivo nitrato NitraVer 5 en polvo</li> <li>▪ Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de nitrato, aparecerá un color ambar.</li> </ul>
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 355 N Nitrato.</li> <li>2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo a la cubeta. Tapar la cubeta.</li> <li>4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1 minutos.</li> <li>5. Agitar vigorosamente la cubeta hasta que suene el temporizador.</li> <li>6. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de 5 minutos.</li> <li>7. Después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>9. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L <math>\text{NO}_3^{-\text{N}}</math>.</li> <li>10. En el transcurso de 1 minuto desde que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. Medición. El resultado aparecerá en mg/ L <math>\text{NO}_3^{-\text{N}}</math>.</li> </ol>
	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> </ul>

NITRITO		✓ Limpiadores
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sobres de reactivo nitrito NitriVer 3 en polvo</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. En presencia de nitrito aparecerá un color rosa.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 371 N Nitrito.</li> <li>Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>Añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrito NitriVer 3 en polvo a la cubeta. Agitar la cubeta, con rotación, para mezclar.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 20 minutos.</li> <li>Después de que suene el temporizador llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L <math>\text{NO}_2^{-\text{N}}</math>.</li> <li>Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L <math>\text{NO}_2^{-}</math>.</li> </ol>
NITROGENO, AMONIAL. Método Nessler	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución de reactivo Nessler, 1 ml</li> <li>Set de reactivos para nitrógeno amoniacal (estabilizante mineral, agente dispersante alcohol polivinílico )</li> <li>Muestra de agua</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
	PROCEDIMIENTO	<ol style="list-style-type: none"> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Programas almacenados</b> y seleccionar el test <b>380 N. amoniacal Ness.</b></li> <li>Llenar un tubo mezclador graduado de 25 ml hasta la marca de 25 ml con muestra.</li> <li><b>Para preparar el blanco:</b> llenar otro tubo graduado de 25 ml hasta la marca de 25 ml con agua desionizada.</li> <li>Añadir tres gotas de estabilizante mineral a cada tubo. Tapara los tubos y agitar varias veces para mezclar.</li> <li>Añadir tres gotas de agente dispersante alcohol polivinílico a cada tubo. Tapara los tubos y agitar varias veces para mezclar.</li> <li>Pipetear 1 ml de reactivo Nessler en cada tubo. Tapar los tubos y agitar varias veces para mezclar.</li> <li>Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 1 minutos.</li> <li>Llenar dos cubetas cuadradas de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con solución de los tubos.</li> <li>Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L <math>\text{NH}_3 - \text{N}</math>.</li> <li>Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>Seleccionar en la pantalla: <b>Medición.</b> El resultado aparecerá en mg/ L <math>\text{NH}_3</math>.</li> </ol>
	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>

<b>HIERRO; total</b>	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sobres de reactivo de hierro FerroVer en polvo</li> <li>▪ Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	– Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis. Si hay la presencia de hierro total, se formara un color anaranjado.
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 265 Hierro FerroVer.</li> <li>2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>3. Añadir el contenido de un sobre de reactivo FerroVer en polvo. Agitar, con rotación, para mezclar.</li> <li>4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos.</li> <li>5. Preparación del blanco: llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con muestra.</li> <li>6. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L Fe.</li> <li>8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L Fe.</li> </ol>
<b>SULFATE (SULFATOS)</b>	<b>EQUIPOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espectrofotómetro DR 2800</li> </ul>
	<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Limpiadores</li> </ul>
	<b>REACTIVOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solución del reactivo de SulfaVer</li> <li>▪ Muestra de agua</li> </ul>
	<b>ANTES DE COMENZAR</b>	Las muestras deben ser analizadas inmediatamente y no pueden conservarse para un futuro análisis.
	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados y seleccionar el test 680 Sulfate.</li> <li>2. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10mL.</li> <li>3. Añadir el contenido del reactivo de SulfaVer en la muestra. Agitar con cuidado para mezclar. La presencia de sulfato se notara con una turbidez</li> <li>4. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</li> <li>5. Preparación del blanco: llene una cubeta de una pulgada de 10 ml con la muestra.</li> <li>6. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>7. Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.00mg/L <math>\text{SO}_4^{2-}</math>.</li> <li>8. Después de 5 minutos, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>9. Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/ L <math>\text{SO}_4^{2-}</math>.</li> </ol>

Fuente: MÉTODO HACH DR 2800, Laboratorio de Control de la Planta de Potabilización “Chaquishca”.

## ANEXO F.

### MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA

PROCESAMIENTO DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE COLIFORMES	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cámara incubadora</li> <li>▪ Unidad para filtración por membrana</li> <li>▪ Bomba de vacío</li> <li>▪ Dispensador de pads</li> </ul>
	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limpiadores</li> <li>✓ Pads absorbentes</li> <li>✓ Set de 20 cajas Petri portacajas</li> <li>✓ Mechero de bunsen</li> <li>✓ Marcador permanente</li> <li>✓ Pinza estéril</li> <li>✓ Lente de aumento</li> </ul>
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muestra de agua</li> <li>▪ Pads absorbentes</li> <li>▪ Alcohol antiséptico</li> <li>▪ Ampollas m-ColiBlue24® Broth</li> </ul>
	ANTES DE COMENZAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Para incubar coliformes fecales, se utilizara la ampolla endo como un medio y se seleccionar la temperatura de 44°C. Para análisis de coliformes totales se seleccionar la temperatura de 37°C en el cual se utilizara la ampolla m - coli blue.</li> <li>– El número de bacterias coliformes fecales en muestras de agua tratada, idealmente debe ser cero. El volumen preferido de muestra es de 100 mL es un indicativo de que el sistema de agua es microbiológicamente seguro. Si los resultados exceden de 1 coliforme fecal por 100 mL o 10 coliforme fecal por 100 mL, indica que el sistema esta contaminado y se deben tomar acciones urgentemente.</li> <li>– El número de bacterias coliformes fecales en muestras de agua deben ser contadas después de pasar 14 horas dentro de una incubadora. Si se utilizara 25 mL de muestra deberán ser observadas bajo un lente de aumento y una vez terminadas de contar, se multiplicaran X 4 para ser registradas.</li> </ul>
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Registrar el lugar de procedencia de la muestra del agua.</li> <li>2. Desinfectar el lugar en donde se va a realizar el análisis.</li> <li>3. Esterilizar particularmente las siguientes superficies:</li> <li>4. Interior del tubo de filtración</li> <li>5. Interior de las cajas Petri</li> </ol>

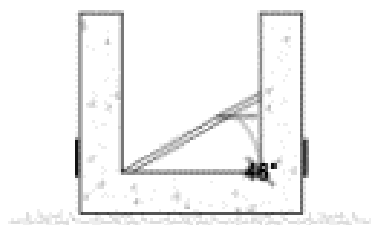


	<p><b>PROCEDIMIENTO</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Colocar un pad absorbente en la caja petri</li> <li>7. Armar el equipo de la bomba de vacío.</li> <li>8. Aflojar el embudo de filtración y removerlo de la base.</li> <li>9. Esterilizar la pinza usando una llama. Con la utilización de la pinza, colocar una membrana estéril en el soporte, con la cuadrícula hacia arriba. Si la membrana esta rasgada o contaminada, descartarla y usar una nueva.</li> <li>10. Ajustar la membrana aplastando el embudo firmemente hacia abajo.</li> <li>11. Poner la muestra de agua en el embudo hasta la marca de 100 mL.</li> <li>12. Filtrar el agua a través de la membrana.</li> <li>13. Cuando toda el agua ha sido filtrada, liberar la bomba de vacío y usando la pinza estéril tomar la membrana de la unidad de filtración.</li> <li>14. Poner la membrana sobre el pad que se encuentra saturado de la ampolla m-Coli blue y posteriormente retirado el exceso de dicho medio.</li> <li>15. Tapar la caja Petri y codificarlo con el número de muestra, lugar, fecha, hora etc.</li> <li>16. Repetir el proceso para todas las muestras. Dejar un periodo de resucitación de 1 a 4 horas, lo cual permitirá que los coliformes fisiológicamente estresados se recuperen antes del cultivo. Luego colocar las cajas Petri en el soporte de la incubadora.</li> <li>17. Para incubar coliformes fecales, seleccionar la temperatura de 44°C. Para análisis de coliformes totales seleccionar la temperatura de 37°C.</li> <li>18. El mínimo periodo de incubación es de 14 horas siguientes a las 4 horas de resucitación.</li> <li>19. Una vez terminado este tiempo, remover las cajas Petri de la incubadora y registrar la temperatura fijada.</li> <li>20. Colocar las cajas Petri en una superficie plana. Remover las tapas y contar las colonias sin considerar el tamaño. Utilizar el lente de aumento si es necesario. Contar inmediatamente las colonias ya que los colores que se presenten pueden cambiar al enfriarse o en reposo.</li> <li>21. Terminado de contar las colonias en cada muestra. Este valor es igual al número de colonias por 100 mL. Muestras que fueron incubadas a 37°C (coliformes totales) mientras que aquellas incubadas a 44°C (coliformes fecales- termotolerantes o termoresistentes)</li> <li>22. Registrar los resultados.</li> </ol>
--	-----------------------------	---

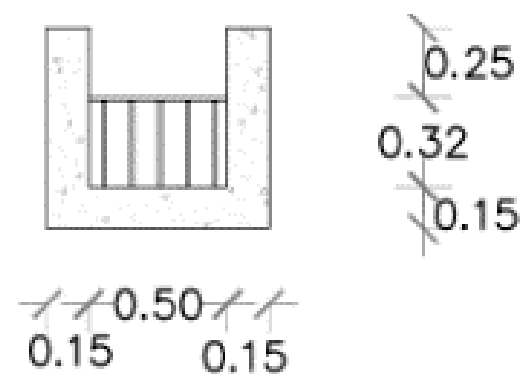
Fuente: Manual de Métodos Analíticos para el Control del Tratamiento de Aguas, Laboratorio de Control de la Planta de Potabilización “Chaquishca”

**ANEXO G.**

**PLANOS**



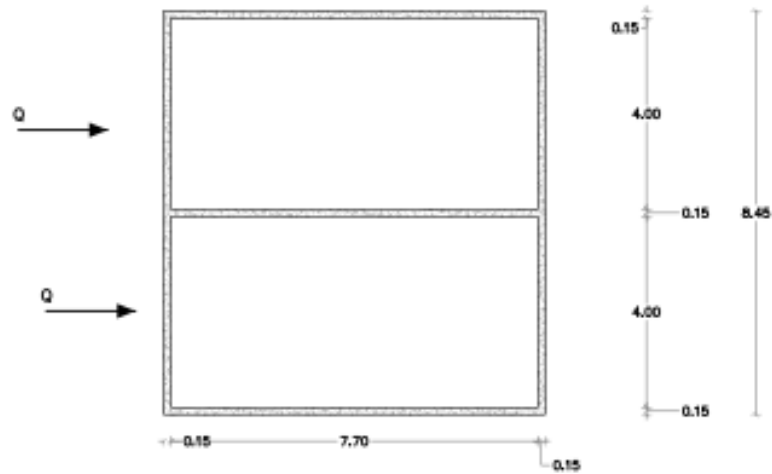
CORTE A-A'



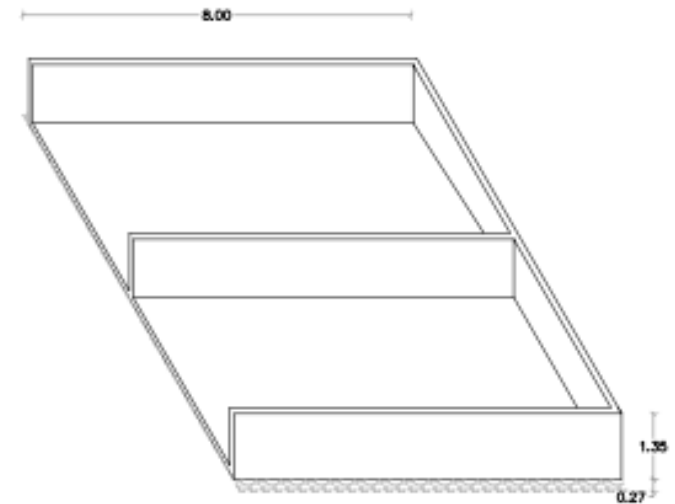
CORTE B-B'

CONTIENE:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DE CANTÓN GUARANDA		
Rejillas Corte A-A' Corte B-B'	<div><input type="checkbox"/> CERTIFICADO</div> <div><input type="checkbox"/> POR ELIMINAR</div> <div><input type="checkbox"/> APROBADO</div> <div><input type="checkbox"/> POR ABROBAR</div> <div><input type="checkbox"/> POR CALIFICAR</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN</div>			LÁMINA	ESCALA	FECHA
				1/6	1:40	2015-12-12
			FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO			



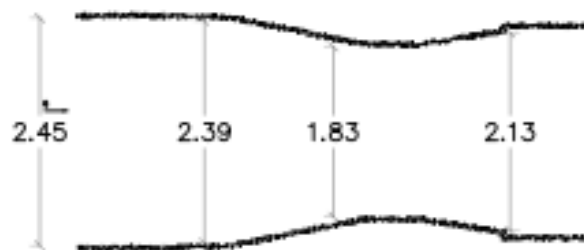


VISTA PLANA



VISTA EN ELEVACIÓN

CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA		
Desarenador Vista Plana Vista en Elevación	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR  <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN		2/6	1:40	2015-12-12

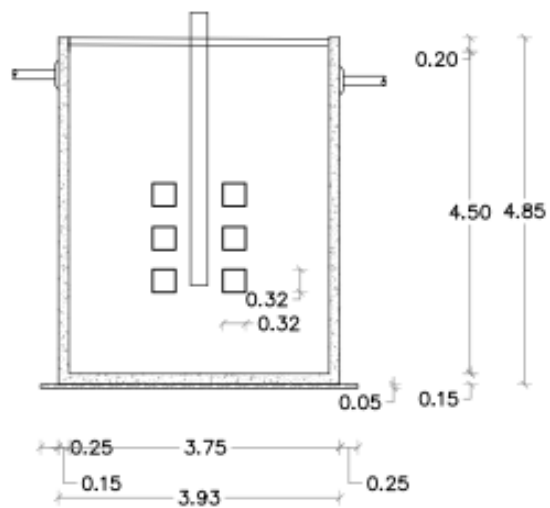


VISTA PLANA

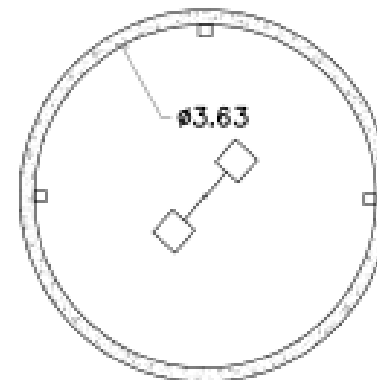


CORTE A-A'

CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA  ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA		
Canal Parshall Vista Plana Corte A-A'	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> APROBADO	<input type="checkbox"/> POR ABROBAR		3/6	1:40	2015-12-12
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

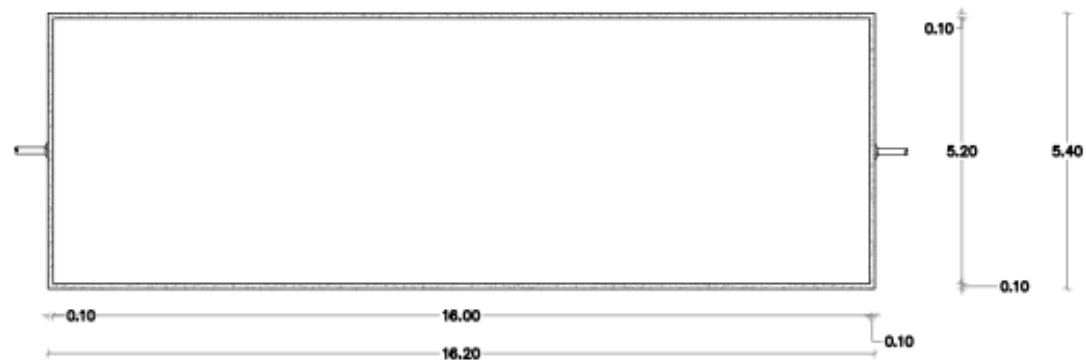


CORTE A-A'

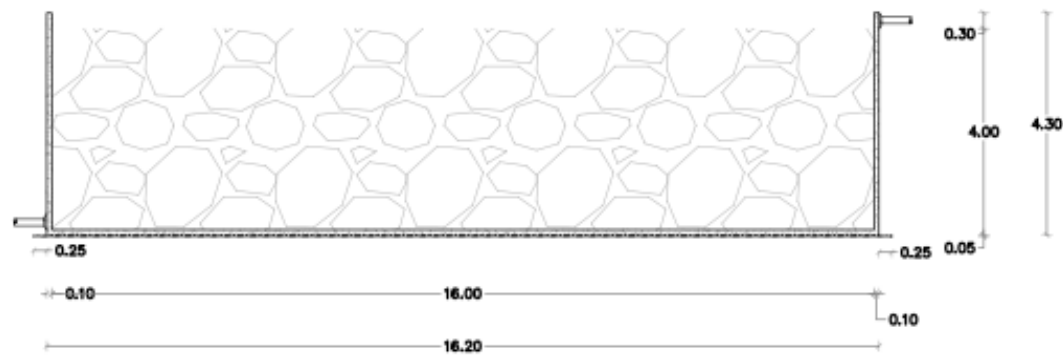


VISTA PLANA

CONTIENE:		CATEGORIA DEL DIAGRAMA		ESPOCH  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA  ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA			
Tanque Mezclador Corte A-A' Vista Plana	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	<input type="checkbox"/> APROBADO		<input type="checkbox"/> POR ABROBAR	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN				4/6	1:40	2015-12-12

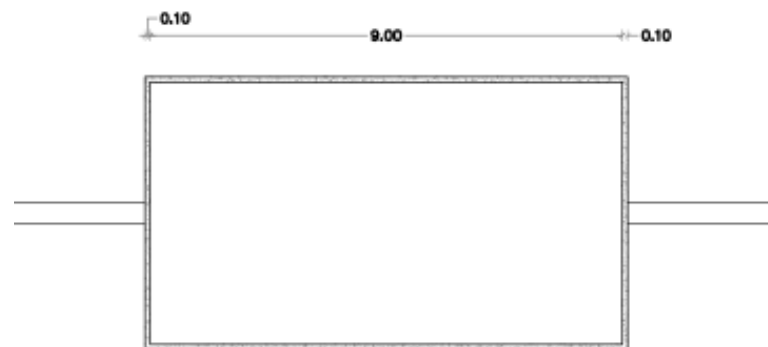


VISTA PLANA

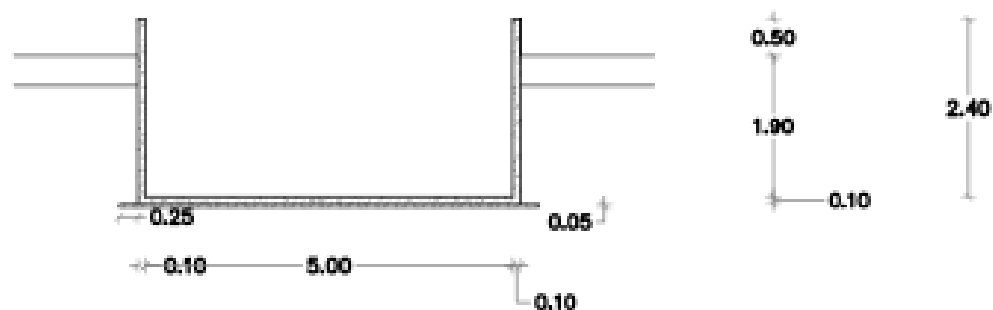


CORTE A-A'

CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA ALEXIS ALBERTO LEMA GALLARDO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA		
FAFA Vista Plana Corte A-A'	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			5/6	1:40	2015-12-12



VISTA PLANA



CORTE A-A'

CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH		
Tanque de Desinfección Vista Plana Corte A-A'	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR ABROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIA SAN LUIS DE PAMBIL DEL CANTÓN GUARANDA		
		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		6/6	1:40	2015-12-12

